

Biblioteca Fac. Cs. Agro. Palmira

IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN AREAS DE LADERAS SOBRE
COMUNIDADES DE MACROFAUNA DEL SUELO (CALDONO, CAUCA,
COLOMBIA)

ALEXANDER FEIJOO MARTINEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Palmira

2001

61591

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Sede Palmira
CENTRO DE DOCUMENTACION DE POSGRADOS

Ph. D
001
2001.
C2

Biblioteca Fac. Cs Agro, Palmira

IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN AREAS DE LADERAS SOBRE
COMUNIDADES DE MACROFAUNA DEL SUELO (CALDONO, CAUCA,
COLOMBIA)

ALEXANDER FEIJOO MARTINEZ

Trabajo de tesis presentado como requisito
parcial para optar al título de Doctor en
Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos

Directores: Alvaro García Ocampo, Universidad Nacional de
Colombia;

Ana G. Moreno, Universidad Complutense de Madrid;

y Carlos Enrique Fragoso, Instituto de Ecología A.C., México

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Palmira

2001

La Universidad y los jurados del trabajo de tesis, no serán responsables de las ideas emitidas por el o los autores de la misma”.

Artículo 24. Resolución 04 de 1974

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA



ESCUELA DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
AREA AGRARIA, MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

En Palmira a los (23) Veintitrés días del mes de Abril del 2001, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores: Mary Ruth García, Orlando Zúñiga y Juan José Jiménez

Para calificar la Tesis de Grado de:

ALEXANDER FEIJOO MARTINEZ

Titulada: "IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN AREA DE LADERAS
SOBRE COMUNIDADES DE MACROFAUNA DEL SUELO (CALDOMO,
CAUCA, COLOMBIA"

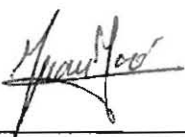
Calificación de la Tesis


APROBADO ☒

REPROBADO ☐

APLAZADO ☐


Mary Ruth García


Juan José Jiménez


Orlando Zúñiga

DEDICATORIA

Esta etapa se cumplió gracias al afecto, estímulo y solidaridad permanente de mi familia

A mi padre Germán Feijoo

Hermanos Phanor, Germán y Fernando

Mi tía madre María Neiver Martínez

A mi compañera y esposa María Constanza Zuñiga

A mis hijas María Alejandra e Isabella por darme el aliento para continuar mis sobrinas y mi sobrino por su presencia.

A Rosarito, por su grata compañía; Elizabeth; Alex, Eliana y su retoño; Vicky, Nelson, Mauricio y al hermano Hugo y toda su cohorte.

Heimar Quintero Vargas por ser maestro y brindarme su compañía incondicional y su visión crítica del conocimiento.

Edwin Bronson Knapp, Director Ejecutivo, por contribuir con aliento las etapas del trabajo con visión estratégica.

Agradecimientos a:

Manuel Antonio Trujillo por su valiosa compañía y enseñanzas durante los muestreos de campo; a su hijo Hooper Trujillo y a nuestro compañero de Laderas Fredy Escobar por su tarea de lombrices cavadoras y al segundo por enseñarnos los secretos de viajar por el Cauca. Marco Antonio Orozco, Manuel Vivas y otros agricultores del Cauca por facilitarnos sus tierras para nuestra tarea de cateo

Edgar Amézquita por sus enseñanzas y disponibilidad para compartir sus conocimientos.

Alvaro García por su constante apoyo; Carlos E. Fragoso y Ana G. Moreno por contribuir permanentemente con mi formación y su caluroso recibimiento y apoyo en Xalapa y Madrid respectivamente durante la etapa de evaluación de los resultados.

Myriam Cristina Duque, James García, Germán Lema, Henry Terán; Otoniel Madrid, Luis E. Girón y Carlos Moreno por su colaboración en el análisis estadístico de la información.

A Elida Patricia Marín y William Ochoa quienes colaboraron en la recolección de datos e información que se presenta.

Patrick Lavelle por su ayuda en el análisis de la información y contribuir con mi formación.

A Juan José Jiménez, por sus comentarios y sugerencias.

Mis compañeros de Laderas: Claudia M. Buitrago; Jorge Rubiano; Jorge A. Beltran; Jairo Castaño; Carlos Quiroz; Jorge Luis Cabrera; Ligia García, María Cecilia Cabra y José I. Roa.

Richard Thomas y a The Soil Water and Nutrient Management Program (SWNM) por la financiación de la pasantía con Carlos Fragoso en Xalapa, México.

Andy Nelson por su colaboración con los mapas; Patrick Hill por sus sugerencias y comentarios.

Al actual combo de Laderas: José I. Sanz, Adriana Domínguez, María C. Roa; Arancibia Jiménez, Carlos Guillermo Meléndez, Vicente Zapata y Olaf Westerman.

Eugenio Escobar por la determinación de las especies vegetales; Rosa Aldana y Luis Carlos por su colaboración en la determinación de algunos bichos.

...Y a todos aquellos que luchan cotidianamente por un mejor vivir...

RESUMEN

En una región de los Andes colombianos, en la subcuenca del río Cabuyal, departamento del Cauca se cuantificó el impacto del uso de la tierra en áreas de laderas sobre las comunidades de la macrofauna del suelo en diez tipos de uso de la tierra (usando el método TSBF) y se estudio la estructura de comunidades de lombrices en una Selva >40 años y un Pastizal (con muestreos de $1 \text{ m}^2 \times 0.6 \text{ m}$ de profundidad). Además se analizaron algunas relaciones de las lombrices con el medio abiótico (suelo y vegetación). La información consignada sobre lombrices y los resultados de otros muestreos del autor, permitieron determinar los patrones de distribución geográfica en Colombia.

Los resultados mostraron el cambio de la estructura, composición y diversidad de las comunidades en ambientes como la Selva Secundaria o sucesiones naturales hasta plantaciones, cultivos o pastizales. Se identificó la biodiversidad y se mostró un dramático decrecimiento de la macrofauna del suelo (desde 98 unidades taxonómicas en la Selva Secundaria hasta 13 en el pastizal de *Brachiaria*) en sistemas de cultivo o en pastizales. La comparación y contraste de la abundancia mostró a las hormigas como el grupo predominante, mientras que en biomasa dominaron las lombrices. Los hallazgos permitirán utilizar a las unidades orgánsmicas como señales tempranas de calidad del suelo pues se destacaron algunas especies de hormigas, coleópteros y lombrices.

En el estudio de las comunidades de lombrices se encontró 18 especies de lombrices, riqueza considerada como de las más altas para agroecosistemas tropicales.⁴ En la Selva

>40 años la riqueza fue mayor (13) que en el Pastizal (9). La diversidad estimada con los índices de Shannon - Weaver y Simpson fueron diferentes (Selva: 1.48 y 0.38; *P. clandestinum*: 1.69 y 0.22 respectivamente).

Las especies endógeas hicieron la mayor contribución a la densidad (90%) y biomasa (95%) en S >40, mientras que en el Pastizal lo hicieron las epígeas con abundancia de 53% y biomasa de 82%.. *M. heterostichon* y *P. corethrurus* fueron las especies más abundantes (55 y 30%) y con mayor aporte de biomasa (92 y 4%) en S >40 años. En *P. clandestinum* abundaron *Glossodrilus sp 3* (44%), *A. corticis* (38%) y *M. agricola* (7%) y en biomasa el mayor aporte fue de *A. corticis* y *Gen n sp n* (65 y 15% respectivamente).

Se examinó la posible relación de la presencia de la macrofauna con algunos nutrimentos del suelo pero no se encontró un patrón claro que determinara su distribución, la cual fue agregada; sin embargo, el C se diferenció como una alternativa para separar usos de la tierra con poca o alta degradación.

SUMMARY

Macrofauna density, total biomass, and species diversity of earthworms were measured across a range of land use types in the Cabuyal River watershed in Cauca department, Colombia. The methodology recommended by the Tropical Soils Biology and Fertility (TSBF) Program was used. Macrofauna density, biomass, and diversity of earthworm species varied considerably across land use types, and depths. High taxonomic units values occur in the Andean forest (98 observed), decreasing dramatically in pastures (ranging from 28 to 13) and farm lands (ranging from 31 to 18).

Samples were taken from 40 year old Forest and from *Pennisetum clandestinum* pastures in hillside soil, to determine the temporal and spatial dynamics of earthworm diversity, abundance and biomass. Earthworm species richness and biomass were higher in the 40 year old forest than in *P. clandestinum* (13 vs 9 species), while earthworm density was higher in *P. clandestinum*. The Earthworm species richness is the highest at the tropical agroecosystems.

Diversity as measured by the Shannon Weaver differed from that of Simpson (forest 1.48 and 0.38; *P. clandestinum* 1.69 and 0.22 respectively). This difference in indices is due to differences in niche structure. While both soils are species rich, each contains a few common species and a much larger number of poorly represented species.

The earthworm species that were the most abundant and the largest fraction of earthworm biomass under forest were *M. heterostichon* (55% y 92% respectively)

and *P. corethrurus* (30%, 4%). Under *P. clandestinum* the most common species were *Glossodrilus* sp 3 (44%), *A. corticis* (38%) and *M. agricola* (7%) while *A. corticis* and *Martiodrilus* sp made up 65 and 15% of the population respectively).

In both sites epigeic and endogeic earthworms predominated. The population consisted of 10 epigeics (*M. agricola*, *M. ecuadoriensis*, *Periscolex* sp, *Thamnodrilus* sp 1, *Thamnodrilus* sp 2, *A. corticis*, *A. gracilis*, *D. octaedra*, *Dichogaster* sp 2 and an unknown species of the Almididae family) which stay in or below the litter; and seven endogenics, of which four are mesohumics (*P. corethrurus*, *M. heterostichon*, *Gen n* sp n, *Glossodrilus* sp 1, *Glossodrilus* sp2, *Holoscolex* sp and a Ocnerodrilidae species) burrowers

Under 40 year old forest, endogeics made up 90 of the and 95 % of the earthworm population and biomass while epigeics were 10 and 5 % respectively. Under *Pennisetum* pasture most of the population and biomass were epigeics (53 and 82 % respectively, while they were fewer endogeics (47 and 18% respectively).

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 USO AGRÍCOLA DE LAS MONTAÑAS ANDINAS.....	5
2.2 Los macroinvertebrados en el suelo	6
2.3 Los macroinvertebrados como predictores de cambio en agrosistemas	8
2.4 Geografía de lombrices	11
2.5 La estructura de las comunidades de lombrices de tierra.....	13
2.5.1 Categorías ecológicas.....	14
2.5.2 Afinidad y solapamiento de nichos.....	16
2.6 Relaciones de las poblaciones de lombrices con el suelo	17
2.7 La variabilidad espacial y temporal	19
3. METODOLOGÍA	25
3.1 CARACTERIZACION DE LA ZONA ESTUDIADA	25
3.1.1 Area de estudio	25
3.1.2 Características climáticas de la subcuenca del río Cabuyal.....	29
3.2 METODOS DE ESTUDIO	31
3.2.1. Fase Uno, Geografía de lombrices de tierra de Colombia.....	31
3.2.2 Fase Dos, Cuantificación de la macrofauna.....	32
3.2.3. Fase Tres. Estructura de comunidades de lombrices	37
3.2.4. Fase Cuatro, Relaciones de las lombrices con algunos parámetros abióticos	41
3.3 Análisis de la información.....	42

4 RESULTADOS	52
4.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS COMUNIDADES DE	
LOMBRICES EN COLOMBIA	52
4.1.1 Perspectiva histórica	52
4.1.2 Biodiversidad Tropical colombiana.....	56
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS DIEZ TIPOS DE USO DE LA TIERRA MUESTREADOS EN LA FASE DOS	60
4.2.1 Características físicas de los sitios muestreados en la fase tres	63
4.2.1.1 Densidad Aparente y Real	63
4.2.1.2 Porosidad Total.....	64
4.2.1.3 Estabilidad de agregados	66
4.2.1.4 Retención de humedad.....	67
4.2.1.5 Humedad de Campo	69
4.2.1.6 Espacio aéreo.....	70
4.2.1.7 Resistencia a la Penetrabilidad	71
4.2.1.8 Textura.....	72
4.2.2 Características químicas de los sitios muestreados en la fase tres.....	73
4.3 RELACIÓN ENTRE LA MACROFAUNA Y EL USO DE LA TIERRA EN UN	
ÁREA DE LOS ANDES COLOMBIANOS	74
4.3.1 Comunidades de lombrices y macrofauna en áreas de laderas	74
4.3.2 Patrones de riqueza de especies densidad y biomasa de la macrofauna en los sitios	82

4.3.3 Comunidades de lombrices de tierra en el contexto de la macrofauna.....	84
4.4 SELECCIÓN DE DOS SITIOS PARA PROFUNDIZAR EN LA ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA.....	89
4.4.1 Comunidades de lombrices de tierra.....	89
4.4.1.1 Composición cuantitativa de las comunidades de lombrices	91
4.4.1.2 Variación espacio temporal.....	94
4.4.1.2.1 Distribución Vertical.....	94
4.4.1.2.2 Distribución horizontal de la comunidad de lombrices.....	98
4.4.2 Variación espacio - temporal de la población de lombrices por sitio	104
4.4.3 Cambios en la población y en la distribución horizontal de las especies	108
4.4.4 Diversidad, riqueza y nicho de las poblaciones	117
4.4.5 Competición difusa, solapamiento y dimensión de nichos.....	118
4.5 RELACIONES DE LAS LOMBRICES CON ALGUNOS FACTORES DEL SUELO	120
4.5.1 Patrones relacionados con la variabilidad ambiental.....	120
4.5.2 Relaciones de las lombrices con algunas propiedades del suelo	124
5. DISCUSIÓN	129
6. CONCLUSIONES	155
7. RECOMENDACIONES.....	158
8. BIBLIOGRAFÍA	160
9. ANEXOS	175

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Zonas de vida de Colombia	33
Cuadro. Significado de los parámetros calculados con la Ley de Taylor	48
Cuadro 3. Parámetros de la Ley de Iwao	50
Cuadro 4. Parámetros calculados para promover un plan de muestreo secuencial de la abundancia de la población de lombrices en dos usos de la tierra	50
Cuadro 5. Características químicas del suelo tomado a 30 cm de profundidad en 10 usos de la tierra del Cabuyal	61
Cuadro 6. Características químicas por profundidad en el suelo en la S >40 años	72
Cuadro 7. Características químicas por profundidad en el suelo del Pastizal	73
Cuadro 8. Correlación para variables y factores de la densidad de macrofauna extraídos del ACP	77
Cuadro 9. Análisis de Conglomerados para el promedio de la abundancia de los grupos taxonómicos y análisis del suelo en diversos usos del Cabuyal	79
Cuadro 10. Biomasa de lombrices, hormigas y coleópteros y total de la macrofauna en diversos usos del Cabuyal	85
Cuadro 11. Familias y especies de lombrices en dos usos de la tierra de las Laderas andinas del departamento del Cauca	88
Cuadro 12. Distribución vertical (promedio) de las especies de mayor presencia en la Selva >40 años	94
Cuadro 13. Distribución vertical (promedio) de las especies de mayor presencia en el Pastizal	94
Cuadro 14. Coeficientes de Taylor e Iwao calculados para la abundancia en los dos usos de la tierra	99
Cuadro 15. Propuesta de muestreo secuencial para la población de lombrices en Selva >40 años	99
Cuadro 16. Propuesta de muestreo secuencial para la población de lombrices en el Pastizal	100

Cuadro 17. Índice de afinidad unidireccional entre pares de especies en la Selva >40 años	114
Cuadro 18. Índice de afinidad unidireccional entre pares de especies en el Pastizal	115
Cuadro 19. Índice de solapamiento vertical de las especies en la Selva >40 años	117
Cuadro 20. Índice de solapamiento temporal de las especies en Selva >40 años	117
Cuadro 21. Índice de solapamiento vertical de las especies en el Pastizal	117
Cuadro 22. Índice de solapamiento temporal de las especies en el Pastizal	117
Cuadro 23. Correlación de la abundancia y biomasa de lombrices con algunas variables del suelo para 15 monolitos en la Selva >40 años	119
Cuadro 24. Correlación de la abundancia y biomasa de lombrices con algunas variables del suelo para 15 monolitos en el Pastizal	120
Cuadro 25. Análisis de conglomerados para biomasa y algunas características del suelo para 15 monolitos en dos usos de la tierra	122
Cuadro 26. Composición química del suelo y heces de <i>M. heterostichon</i> colectadas en monolitos de la Selva > 40 años	125
Cuadro 27. Composición química del suelo y heces de <i>Gen Nuevo sp n</i> colectadas en monolitos en el Pastizal	125
Cuadro 28. Densidad y biomasa de la macrofauna y lombrices en diferentes Localidades muestreadas con la metodología TSBF	134
Cuadro 29. Solapamiento de nicho de diferentes poblaciones tropicales de lombrices	139
Cuadro 30. Valores promedios de algunos parámetros biológicos y físicos evaluados en los sitios	144

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Clasificación funcional de los macroinvertebrados del suelo	9
Figura 2. Procesos en los que interactúan las lombrices en el sistemas suelo	11
Figura 3. La influencia de la intensificación sobre la biodeiversidad y el funcionamiento en sistemas agrícolas	12
Figura 4. Localización geográfica y división geográfica de la subcuenca del río Cabuyal	28
Figura 5. Usos de la tierra muestreados en el Cabuyal	31
Figura 6. Precipitación (mm) y temperatura promedia mensual máxima y mínima desde abril de 1994 hasta febrero de 1997 en la subcuenca del río Cabuyal	32
Figura 7. Metodología de muestreo propuesta por el programa TSBF	37
Figura 8. Metodología y variables para muestreos de lombrices durante 18 meses	40
Figura 9. Distribución de las muestras en la Selva >40 años	41
Figura 10. Distribución de las muestras en el Pastizal	41
Figura 11. Posición relativa de las características de los suelos de 10 tipos de uso de la tierra extraídos para dos componentes con el ACP	62
Figura 12. Aporte de los elementos muestreados a los componentes principales en el Cabuyal	62
Figura 13. Fluctuación de la densidad aparente y real relacionado con la profundidad en el Pastizal	64
Figura 14. Porosidad total en la Selva >40 años y el Pastizal	65
Figura 15. Distribución de agregados de diferente clase (0-60 cm) en la Selva >40 años	66
Figura 16. Distribución de agregados de diferente clase (0-60 cm) en el Pastizal	66
Figura 17. Retención de humedad a diferentes profundidades en la S >40 años	67
Figura 18. Retención de humedad a diferentes profundidades en el Pastizal	68
Figura 19. Fluctuación de la humedad del suelo en la Selva >40 años y el Pastizal	69
Figura 20. Fluctuación del espacio aéreo para los dos usos de la tierra	70
Figura 21. Comparación de la resistencia a la penetración en las áreas de los dos sitios	71
Figura 22. Porcentaje de la densidad y biomasa de las u. t. para los diez sitios estudiados	74

Figura 23. Relación entre variación temporal e individuos de la macrofauna Cabuyal	75
Figura 24. Tendencias en la distribución de los sitios con dos factores en el ACP	78
Figura 25. Análisis de conglomerados de la macrofauna de diez tipos de uso de la tierra	78
Figura 26a. Densidad y biomasa de la macrofauna en diez tipos de uso de la tierra	81
Figura 26b. Densidad y biomasa de la macrofauna en diez tipos de uso de la tierra	81
Figura 27. Distribución vertical en porcentaje y densidad de la macrofauna en Cabuyal	83
Figura 28. U. T. de la macrofauna y riqueza de especies de lombrices en Cabuyal	84
Figura 29. Densidad y biomasa total de lombrices en diez de Cabuyal	86
Figura 30. Distribución vertical porcentual de las lombrices por capa en el Cabuyal	86
Figura 31a. Fluctuación de la precipitación, abundancia y biomasa de lombrices en S>40	90
Figura 31b. Fluctuación de la precipitación, abundancia y biomasa de lombrices en el Pastizal	90
Figura 32a. Aporte de la abundancia de las especies en la S>40 años	91
Figura 32b. Aporte de la biomasa de las especies de lombrices en la S >40 años	91
Figura 33a. Aporte de la abundancia de las especies en el Pastizal	91
Figura 33b. Aporte de la biomasa de las especies de lombrices en el Pastizal	91
Figura 33c. Cambios en la composición de la comunidad de lombrices en la Selva y el Pastizal en el Cabuyal	93
Figura 34a. Distribución vertical temporal de la abundancia (%) de lombrices totales por mes en la S>40 años	95
Figura 34b. Distribución vertical temporal de la abundancia (%) de lombrices totales por mes en el Pastizal	95
Figura 35a. Representación temporal de la abundancia en la Selva >40 años	97
Figura 35b. Representación temporal de la abundancia en el Pastizal	97
Figura 35c. Distribución hipotética Log normal de la biomasa en la S>40 años	98
Figura 35d. Distribución hipotética Log normal de la biomasa en el Pastizal	98
Figura 35e. Relación entre el promedio y la varianza de abundancia en S>40 años	100
Figura 35f. Relación entre el promedio y la varianza de abundancia en el Pastizal	101
Figura 36. Índices de abundancia y biomasa integrado en dos sitios del Cabuyal	103

Figura 37. Fluctuación temporal de la abundancia y biomasa en S>40	107-108
Figura 38. Fluctuación temporal de la abundancia y biomasa en el Pastizal	109-110
Figura 39a. Composición porcentual de las especies de lombrices en la S >40 años	111
Figura 39b. Composición porcentual de las especies de lombrices en el Pastizal	111
Figura 40a. Biomasa total de los estados de desarrollo de las especies de lombrices en la Selva >40 años	112
Figura 40b. Biomasa total de los estados de desarrollo de las especies de lombrices en el Pastizal	
Figura 41a. Relación entre abundancia y biomasa, excluyendo <i>M. heterostichon</i>	113
Figura 41b. Relación entre la abundancia y biomasa en el Pastizal	114
Figura 42. Variación del contenido de materia orgánica con la profundidad	119
Figura 43. Relaciones entre la fitomasa y la biomasa de lombrices en S>40 años	121
Figura 44. Relaciones entre la fitomasa y la biomasa de lombrices en el Pastizal	121
Figura 45. Comparación en tamaño de los agregados del suelo y las cámaras de diapausa de <i>M. heterostichon</i> extraídas del estrato 20-30 cm	124
Figura 46. Comparación del contenido promedio de N y C de muestras de suelo de dos profundidades y las heces de <i>M. heterostichon</i> colectadas en 20-30	126
Figura 47. Comparación del contenido promedio de N y C de muestras de suelo de dos profundidades y las heces de <i>Gen nuevo sp n</i> colectadas en 0-10 cm	126

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Caracterización de la diversidad de la vegetación y macrofauna de los diez sitios de la subcuenca del río Cabuyal
- Anexo 2. Ocurrencia de lombrices de tierra en Colombia
- Anexo 3. Listado de las unidades taxonómicas encontradas en los diez tipos de uso de la tierra
- Anexo 4. Abundancia (Ind. por $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.25 \times 0.3 \text{ m}$) de la macrofauna por muestreo
- Anexo 5. Biomasa (g.p.f. $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.25 \times 0.3 \text{ m}$) de la macrofauna por muestreo
- Anexo 6. Análisis de componentes de varianza para las variables abundancia y biomasa de lombrices de la Selva >40 años y Pastizal de *Pennisetum clandestinum*
- Anexo 7. Comparación de los agregados de *M. heterostichon* y el suelo de los alrededores en la selva de >40 Años
- Anexo 8. Localización aproximada de las especies de lombrices de tierra en Colombia

INTRODUCCIÓN

Desafortunadamente, una agricultura confiable y estimulante con principios excitantes y teóricos casi no se reconoce. El arte de la agricultura se perderá cuando profesores miopes e ignorantes convenzan a los agricultores de poner todas sus esperanzas en soluciones universales, que no son naturales. Consejos deslumbrantes por sus éxitos transitorios, por lo que ellos perderán de vista sus valores y su influencia.

Benckiser /

Muchos agricultores de áreas de laderas en América Latina frente al deterioro de los suelos e improductividad de sus tierras, optan por colonizar tierras altas de las montañas andinas. En Colombia, por ejemplo, la deforestación y utilización sucesiva de tierras para cultivo e introducción de pastos, son las causas más importantes de erosión inducida por el agua y el viento (Ruppenthal, 1995), y además, ocasionan la pérdida de biodiversidad y del potencial de uso agrícola.

La región Andina colombiana que representa el 27% del área del país y paulatinamente ha sido transformada por los asentamientos humanos, lo que trajo consigo, el amontonamiento de la población en sitios estratégicos para la conservación de la biodiversidad y los refugios del agua, incrementó la degradación ambiental, la erosión del suelo y deterioro de los recursos naturales del paisaje.

Teniendo en cuenta el reto actual de mantener la productividad y generar sistemas de producción que promulguen por la sostenibilidad, el uso y la conservación de los recursos

naturales, el Programa de Laderas (PE-3) del CIAT elaboró una encuesta en 1993, que puso de manifiesto una de las creencias de los agricultores la cual relaciona la presencia de lombrices y la fertilidad del suelo. Para validar esta percepción y la comprensión descriptiva del entorno de los agricultores se promovió el estudio de la macrofauna del suelo con énfasis en comunidades de lombrices de tierra como base para construir indicadores o señales tempranas de procesos de degradación o recuperación de suelos útiles en el monitoreo y evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente los objetivos generales y específicos del estudio fueron los siguientes:

OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar el impacto de diferentes tipos de uso de la tierra sobre la estructura y composición de la macrofauna del suelo en áreas de laderas del departamento del Cauca.
- Comprender el papel funcional y estructural de las lombrices de tierra en la subcuenca del río Cabuyal

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivos ecológicos

- Determinar los patrones de distribución geográfica de las poblaciones de lombrices en Colombia.
- Determinar los patrones de abundancia y biomasa de la macrofauna del suelo
- Estudiar el impacto de diferentes usos de la tierra en la distribución de las comunidades de macrofauna
- Caracterizar la comunidad de lombrices de tierra de una Selva de más de 40 años un y Pastizal de *Pennisetum clandestinum*
- Determinar los patrones de distribución de la abundancia y biomasa de la población de lombrices de tierra en dos usos de la tierra
- Explorar las relaciones de la comunidad de oligoquetos con algunas características bióticas y abióticas del hábitat.

Objetivos agrológicos

- Relacionar la estructura de la macrofauna de las laderas andinas con el impacto del uso de la tierra en diversos agrosistemas de la subcuenca del río Cabuyal.
- Detectar en la macrofauna indicadores potenciales de la calidad del suelo en áreas de laderas

HIPÓTESIS GENERAL

Si los sistemas de uso y las prácticas de manejo del terreno influyen en la fauna del suelo, entonces la estructura y la composición de las comunidades de macrofauna y las poblaciones de lombrices se diferenciarán en los diversos usos e itinerarios técnicos. ✓

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Primera hipótesis: El uso de la tierra afecta las poblaciones y modifica la composición estructural de la macrofauna, por lo tanto, esto permitirá agrupar y diferenciar los sitios de acuerdo con la diversidad, abundancia y biomasa, quedando separados claramente los sitios manejados de los no manipulados de acuerdo con un cierto gradiente de intensificación.

Segunda hipótesis: La respuesta de la macrofauna a la modificación de la cobertura forestal es diferente, por lo tanto es posible utilizarla como señal de la calidad de suelos en eco y agrosistemas de la región Andina.

Tercera hipótesis: Si las comunidades de lombrices presentan diferentes patrones de distribución, de acuerdo con el tipo de uso de la tierra, entonces es posible encontrar diversas especies en interacción con el tipo de agroecosistema y el sistema suelo.

Cuarta hipótesis: Si la presencia de lombrices está regida por las condiciones físico – químicas, entonces su abundancia y biomasa se podrán correlacionar con el contenido de biomasa superficial, Carbono y Nitrógeno del suelo en los sitios.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 USO AGRÍCOLA DE LAS MONTAÑAS ANDINAS

A partir de 1920, olas de emigrantes empezaron a convertir las selvas de montaña en fincas y potreros y en tierras arables (Molano, 1992) y después de 1940, al extenderse los sistemas de cultivo industriales por los valles, la ganadería se desplazó hacia las laderas de las cordilleras Andinas, caracterizadas por la alta diversidad, generando estructura de producción caracterizada por la agricultura del campesinado y por sistemas extensivos de cría de bovinos.

El panorama actual no ha cambiado, muchos municipios sufren por el deterioro de las cuencas hidrográficas y la carencia o exceso de agua de lluvias que facilitan en este caso los desastres naturales provocados por la erosión hídrica. Es así como, la infiltración ha disminuido de tal manera que en épocas de lluvia en algunas localidades se produce escorrentía y poco tiempo después de las lluvias (4-6 días) se observan los síntomas de deficiencia de agua (Amézquita y Londoño, 1997).

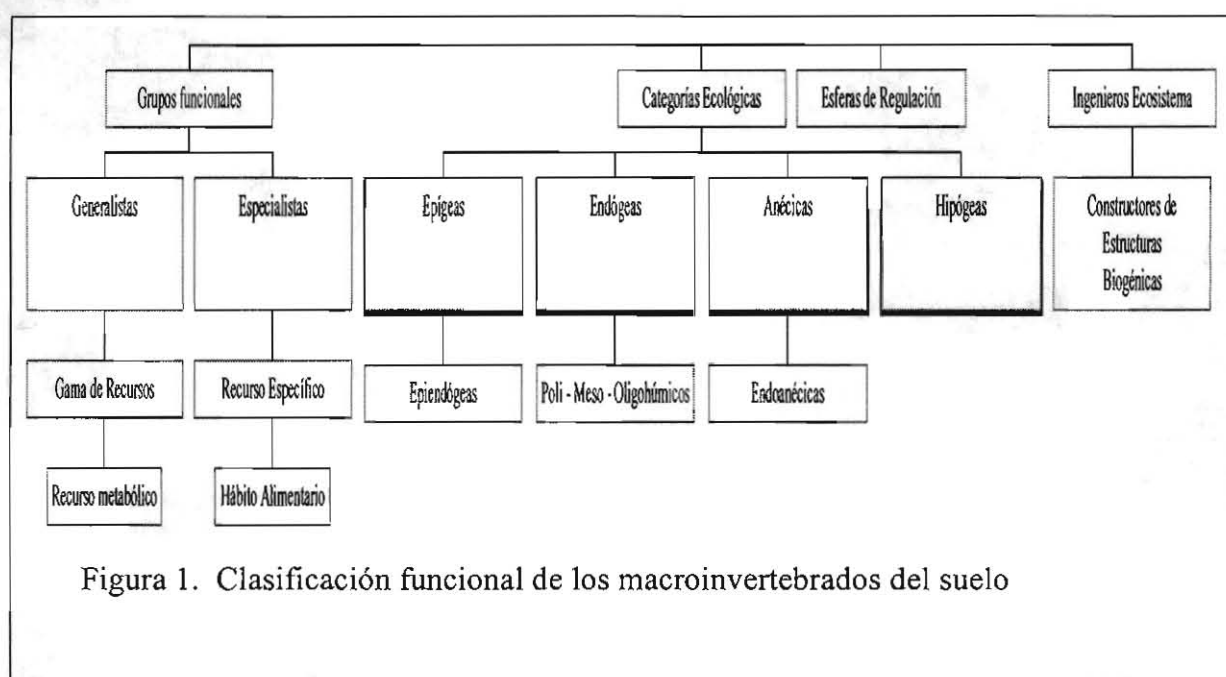
La existencia de tal diversidad en las montañas Andinas hace difícil una posible estrategia de investigación al nivel de paisaje; por tales razones se privilegia trabajar con el concepto

de cuenca hidrográfica, la cual está definida como complejos sistemas jerárquicos, dinámicos y de adaptaciones en el que toman lugar los procesos naturales y las actividades humanas (Knapp et al, 2000). El plan de manejo de una cuenca hidrográfica, debe basarse en una serie de estudios técnicos, entre los cuales se cuenta el de los suelos, para establecer las normas precisas y obtener los beneficios que garanticen la conservación, la sostenibilidad de los sistemas de producción y recuperación del equilibrio natural, así como para crear un conocimiento global para generar bases de datos de recursos frágiles del suelo y relacionarlos con los parámetros ambientales que afectan a los agroecosistemas y para estimular en el ámbito local y regional el desarrollo de programas o itinerarios técnicos que involucren la participación con carácter decisorio de las comunidades de agricultores y de sus familias.

2.2 Los macroinvertebrados en el suelo

Convencionalmente los organismos del suelo se clasificaban de acuerdo con la talla (Walwork, 1976; Lavelle, 1988a; Stork y Eggleton, 1992). Luego se introdujeron los criterios de posición (suelo o mantillo) y recursos alimenticios que ingieren para catalogarlos en grupos funcionales (Anderson & Ingram, 1993; Lavelle, 1983; Lavelle, 1997). En el taller sobre biodiversidad CYTED, llevado a cabo en Xalapa, México, se esbozó una futura propuesta (Figura 1) y además se definieron los macroinvertebrados como animales visibles a la vista (diámetro > 2 mm o longitud >10 mm), que desarrollan por lo menos parte de su ciclo de vida en el suelo y/o mantillo superficial (hojarasca,

troncos de la vegetación) y las categorías ecológicas como la forma de clasificar la macrofauna de acuerdo con su adaptación, hábitos alimentarios, atributos de historia de vida y distribución espacial (horizontal y vertical), definición que involucra elementos tales como la historia de vida (tamaño, reproducción, sobrevivencia y ciclo de vida) y los hábitos alimentarios (Proyecto Precompetitivo CYTED, 2000, sin publicar).



Los macroinvertebrados juegan papel importante en la regulación de los procesos del suelo; grupos claves tales como lombrices de tierra, termitas y hormigas, afectan la estructura física del suelo, incrementan la descomposición de la materia orgánica, aumentan la actividad microbial en sus esferas de influencia (termitosfera, drilosfera) y determinan la dinámica de los nutrimentos a través de su efecto sobre la inmovilización y la humificación, además construyen nidos, galerías o cámaras (Lavelle, 1988a, Anderson y Flanagan, 1989;

Lavelle et al 1994; Brown, 1995; Lavelle, et al, 1998; Brussard, 1999). Así mismo, en el sistema digestivo de lombrices, termitas y coleópteros entre otros, existe una asociación mutualística con la microflora, lo que les permite digerir substratos complejos, como tanino - proteína, lignina y compuestos húmicos; además de contribuir con la creación de nichos que ocupan otras especies (Figura 2) (Lee, 1985; Mulongoy y Merckx, 1993; Lavelle, 1994; Lavelle, et al, 1998; Woomer y Swift, 1994; Coleman y Crossley, 1996).

El Programa "Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)" supone que individuos con gran biomasa corporal (macrofauna) podrían presentar mejores oportunidades para la conservación o manipulación en agroecosistemas, premisa que solo destaca la importancia de los organismos del suelo por el efecto en la fertilidad, no como indicadores de degradación o de regeneración de agroecosistemas.

2.3 Los macroinvertebrados como predictores de cambio en agrosistemas

En ambientes con modificaciones parciales y con itinerarios técnicos heterogéneos, el agroecosistema absorbe la fuerza de la perturbación, se desplaza y permite que muchos organismos se adapten a la nueva condición, algunos organismos resisten la bioturbación, en otros desaparecen las poblaciones originales y las especies cosmopolitas invaden hasta dominar. En sistemas industrializados, en la medida que crece la monotonía del paisaje se van desconectando los parches de vegetación natural, se dificultan los procesos de recolonización por la macrofauna (Figura 3) (Feijoo, 1993; 1994; Fragoso et al, 1996;

Feijoo y Quintero, 1998a; Feijoo y Knapp, 1998b, Feijoo et al, 1999). Después de la introducción de pastos, especies forestales y cultivos disminuye la diversidad y aumenta la densidad de algunas especies de macrofauna (Collins, 1980; Lavelle, et al, 1981; Lavelle y Kohlmann, 1984; Lavelle y Pashanasi, 1989; Decaens, et al, 1994 y Feijoo et al 1999). Por ejemplo Decaens (1994), en Carimagua (Colombia), encontró efecto dramático sobre las poblaciones de lombrices y artrópodos debido al uso de fertilizantes, la desaparición del mantillo y la modificación microclimática. En los sistemas agroforestales la biomasa es

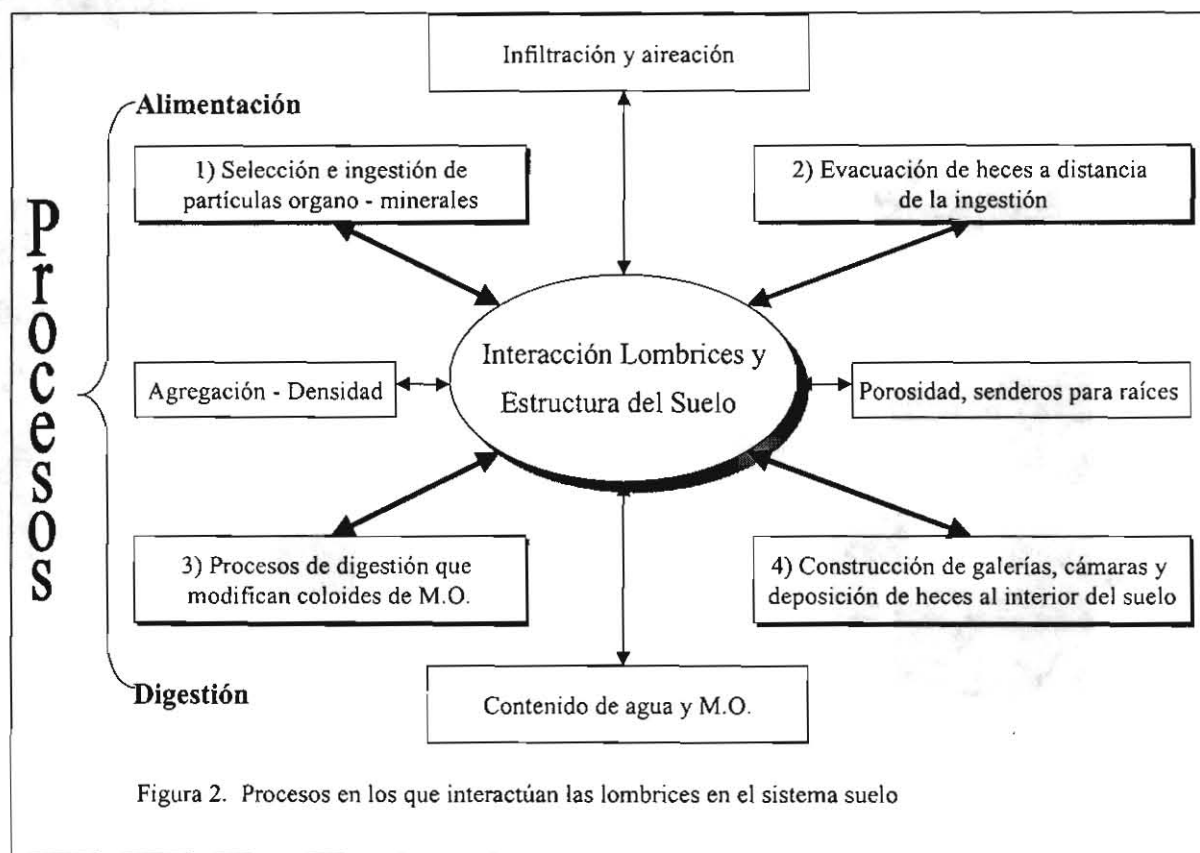
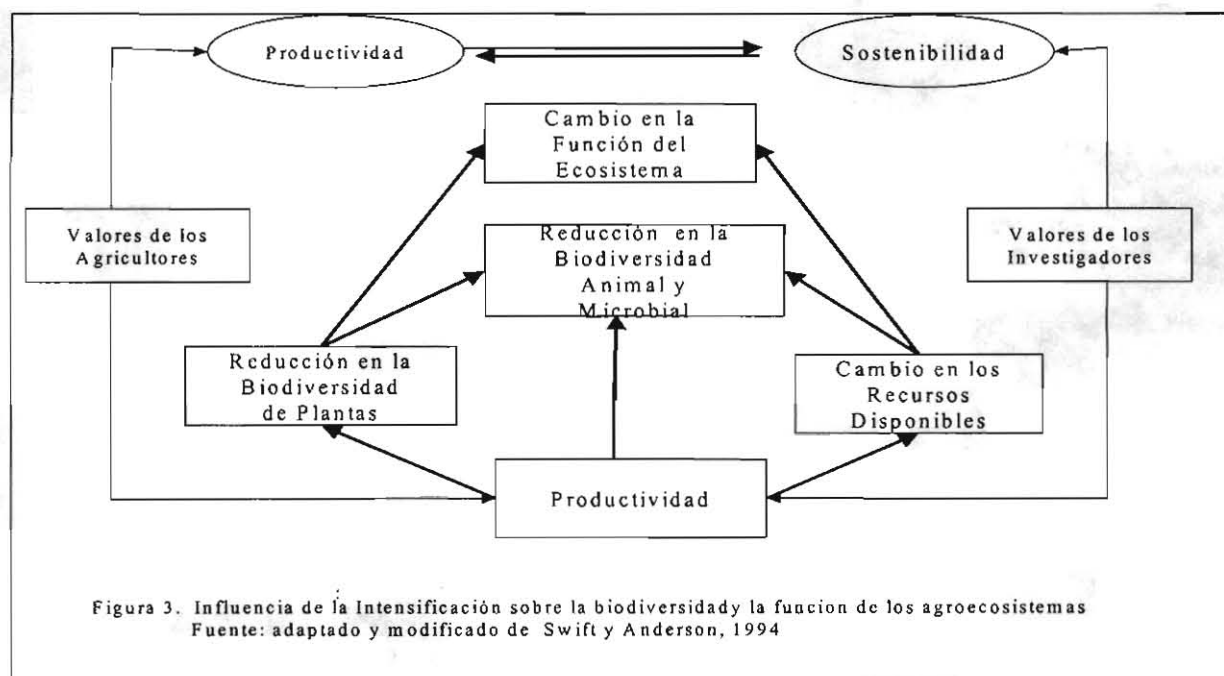


Figura 2. Procesos en los que interactúan las lombrices en el sistema suelo

más alta que en los ecosistemas debido a la presencia de especies con amplia tolerancia climática y edáfica; las plantaciones con árboles leguminosas ofrecen diversos recursos para la descomposición y tienen a menudo niveles altos de diversidad. Por el contrario, los

cultivos anuales deprimen más la fauna del suelo por la pérdida de la materia orgánica (Fragoso et al, 1993) y el incremento de la erosión (Fragoso et al, 1999), mientras que las técnicas de los sistemas tradicionales conservan la fauna local (Decaens et al, 1994; Feijoo et al, 1999).



Fragoso et al (1993), correlacionan los contenidos altos de materia orgánica del suelo y la ocurrencia de especies nativas en sitios no perturbados, mientras que en los ambientes alterados dominaban las exóticas. Sin embargo, los pastizales en ocasiones tienen diversidad de macrofauna más alta debido al aporte caótico de materia orgánica de los excrementos y orines del ganado vacuno y a la capacidad de colonización y de cobertura de los pastos, lo que incide en la proliferación de especies nativas y exóticas de lombrices, larvas de coleóptero y hormigas (Decaens et al, 1994; Lavelle et al, 1994; Feijoo et al, 1999). Así

mismo, en los sistemas agrícolas especializados con reducida diversidad animal y vegetal, el manejo del hombre influye en la actividad de los microorganismos y la fauna del suelo al cambiar el ambiente adicionando considerables insumos (fertilizantes) y exportando cosechas, modificando el control homeostático y las poblaciones microbiales e invertebradas (Bamforth, 1997).

2.4 Distribución de lombrices

Las lombrices ocurren en casi todos los hábitats del mundo, los desiertos, áreas cubiertas de hielo, sin suelo y sin vegetación impiden la migración de las especies. La mayoría de las 3500 especies llamadas lombrices de tierra (Oligochaeta) habitan en suelos, en troncos en proceso de descomposición y en ambientes aéreos como penachos de bromelias o debajo del musgo, especialmente en selvas andinas, húmedas tropicales, sabanas, pastizales, agroecosistemas y sistemas de cultivo en surco (Sims, 1980; Feijoo, 1993; Paoletti, 1999). Según Sims (1980) "la mayoría de las especies de lombrices están adaptadas a su ambiente y puede ser deletéreo transferirlas a otros hábitats, ya que mueren o reducen las tasas de procreación. Sin embargo, algunas especies tienen amplias tolerancias alimenticias y sobreviven al transporte pudiendo establecerse en otras partes".

Michaelson (1900) calificó las especies de amplia distribución geográfica como "peregrinas" y las de poca distribución como "endémicas". Aproximadamente 100 especies de lombrices, casi el 3% de las conocidas, son peregrinas, habitan ambientes diversos y presumiblemente

han sido transportadas por el hombre (Lee, 1985). Poseen habilidad para explotar suelos perturbados que han sido abandonados por las especies nativas (Sims, 1980).

Las especies peregrinas están constituidas por:

- 20 - 30 especies de Lumbricidae, de las cuales se han encontrado en Colombia los géneros *Allolobophora*, *Eiseniella*, *Lumbricus*, *Octolasion*, *Eisenia* y *Dendrodrilus*.

- Diversos representantes de la familia Megascolecidae, constituidos por 15 - 20 especies del antiguo género "*Pheretima*", particularmente *Amyntas gracilis* Kinberg (1867) y *A. corticis* Kinberg (1867) que se originaron aparentemente en el sur oriente de Asia.

- *Dichogaster annae* Horst (1893) (Octochaetidae) y *Eudrilus eugeniae* Kinberg (1867) (Eudrilidae) probablemente originarias de Australasia y del occidente de Africa respectivamente, introducidas en Colombia.

Pontoscolex corethrurus Muller (1856), Glossoscolecidae, de origen probable en la selva Guyanesa o en la Amazónica; al parecer se dispersó por el neotrópico en restos de madera o a través de los ríos.

Según Lee (1985) algunos de los mecanismos de adaptación que han favorecido la distribución de las especies peregrinas son:

- La partenogénesis, que puede ser facultativa u obligada
- La tolerancia a la variabilidad en el ambiente físico y químico, pues a menudo tienen amplios rangos de tolerancia y adaptación a altas y bajas temperaturas, a la humedad relativa, al pH, a la concentración de electrolitos en las soluciones del suelo y a un eficiente sistema digestivo.

Las especies endémicas habitan ambientes poco perturbados limitados por barreras geográficas como ríos o montañas (Fragoso et al, 1999). La región Andina de Colombia está habitada por oligoquetos de la familia Glossoscolecidae, los cuales se distribuyen entre el río Juramento Salado de Argentina hasta México y en algunas islas del Caribe (Righi, 1984, Fragoso et al, 1995).

2.5 Estructura de las comunidades de lombrices de tierra

La abundancia y biomasa de las poblaciones de lombrices varía en las escalas espacial y temporal, con rangos promedio desde menos de 10 hasta más de 100 individuos y 1 hasta 200 g m⁻²; así mismo, la riqueza de especies oscila entre 1 y 17 (Nemeth, 1981; Lavelle y Fragoso, 1992; Fragoso, 1993; Lavelle, 1998; Feijoo et al, 1999; Jiménez, 1999). En la variabilidad influyen factores regionales que modifican el paisaje y condiciones locales tales como el clima, suelo, vegetación, uso y manejo de la tierra, la altura sobre el nivel del mar e interacciones bióticas con otros organismos (competencia, predación, parasitismo, y cadenas alimentarias) (Curry, 1998). La arquitectura de las plantas, el aporte de semillas, cobertura y calidad de la fitomasa, además de las interacciones con la rizosfera, son determinantes de la abundancia de lombrices (Brussaard, 1999). Sin embargo, aún no es clara la forma en que estos factores interactúan para definir el patrón de distribución de las poblaciones en el paisaje. Por ejemplo, en algunos trabajos se argumenta que la temperatura es el factor principal (Lavelle et al, 1983; Lavelle et al, 1989; Lavelle et al, 1995), en otros se incluye además la precipitación (Jiménez, 1999), la textura, la calidad de

la materia orgánica o los estados de sucesión de la vegetación. Lavelle et al (1998) proponen que al madurar el bosque alpino de 20 a 60 años de Francia decrecía la densidad, por el contrario, al madurar la selva incrementaron las poblaciones pero con baja densidad. Así mismo, mostraron que el cambio de la calidad y cantidad de materia orgánica almacenada en las capas de humus coincidía con las variaciones poblacionales.

En otros estudios se identificó la importancia de los grupos funcionales como parámetros básicos para diferenciar tendencias en el patrón de distribución. Por ejemplo, Fragoso y Lavelle (1992) analizaron los datos de 14 localidades, nueve variables edáficas y dos climáticas relacionados con la densidad de las poblaciones, biomasa y riqueza de especies de 31 comunidades de lombrices utilizando análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados. Dos factores explicaron el 63% de la varianza total: el primero (41%) separó lombrices epianécicas y endógeas y el segundo (22%) opuso comunidades con baja abundancia; el análisis de conglomerados identificó tres grupos: el primero comunidades endógeas, y el segundo y el tercero epianécicas.

2.5.1 Categorías ecológicas

La actividad de las lombrices en los sistemas naturales varía de acuerdo con el suelo y las condiciones climáticas. Algunas construyen galerías profundas, por ejemplo *Martiodrilus columbianus*, Michaelsen (1900); otras en la capa intermedia del suelo (5-25 cm) como *Pontoscolex corethrurus* y *Andiodrilus schuetti*, Michaelsen (1895), mientras que otras como

Eisenia fetida, Savigny, 1826 y *Eudrilus eugeniae*, Kinberg (1867) viven en la materia orgánica en descomposición, *Dichogaster medellina*, Michaelsen (1913) habita los troncos en descomposición, los penachos de bromelias o, en esporádicas ocasiones el límite entre el mantillo y el suelo (Feijoo, 1993).

Los estilos de vida anteriores corresponden con las siguientes categorías ecológicas (Bouché, 1977):

- Epígeas: moradoras del mantillo; tienen cuerpo pequeño, entre 10 y 30 mm y coloración uniforme; endógeas: construyen galerías horizontales, ramificadas en la capa organo-mineral del suelo. Débilmente pigmentadas, y varían de tamaño pequeño a grande; anécicas: especies cavadoras profundas, construyen galerías, emergen durante la noche para ingerir material orgánico, son grandes (200 a 1100 mm) y generalmente de color pardo oscuro en la región anterior y dorsal.

Lavelle (1983) completa la categoría endógea dividiéndola en tres grupos de acuerdo con la riqueza orgánica del suelo.

- Polihúmicas: ingieren suelo con alto contenido orgánico, se alimentan sobre la superficie del suelo o en la rizosfera. Generalmente tienen perfil demográfico tipo r y balancean la elevada mortalidad con un rápido crecimiento y alta fecundidad.
- Mesohúmicas: ingieren el suelo del horizonte A1 sin hacer ninguna selección. De talla media (entre 10 y 20 cm de longitud) presentan perfil demográfico intermedio r - k.

- Oligohúmicas: se especializan en alimentarse en los horizontes profundos del suelo. Son de estrategia típica k y el bajo crecimiento y fecundidad (debido al bajo valor energético del alimento) se compensa por su baja mortalidad.

2.5.2 Afinidad y solapamiento de nichos

El nicho fundamental de una especie incluye la gama de condiciones ambientales físicas que son fundamentales para su existencia, mientras que el nicho realizado describe parte del nicho fundamental que realmente es ocupado por la especie. Frecuentemente, el nicho realizado es menor en ciertas dimensiones que el nicho fundamental, por la actividad de otros organismos, que son predadores o competidores por recursos. El realizado (o nicho efectivo), es parte del nicho fundamental efectivamente ocupada por la especie cuando se ve restringido por sus predadores, parasitas o competidores. Frecuentemente, dos especies próximas pueden tener un nicho fundamental similar, pero ocupar diferentes nichos realizados porque la competición da lugar a adaptaciones para utilizar recursos diferentes (Pianka, 1994).

La afinidad de las especies se puede estimar por el grado en el cual se solapan o sobreponen para utilizar recursos comunes; el solapamiento se definió como la suma total de las adaptaciones de una unidad orgánica o como las maneras en las que una unidad orgánica se adapta a un ambiente determinado (Pianka, 1982; 1994). Los estudios del nicho se basan en atributos como la dieta, preferencia de microhábitats, regulación de

actividades (forrajeo) (Ludwig y Reynolds, 1988). Además, el solapamiento de nicho se considero como uno de los posibles determinantes para la diversidad de especies y la estructura de comunidades, y se compara por medio de mediciones de distancia, índices de asociación, coeficientes de correlación y pruebas estadísticas. A pesar de la utilidad del índice de solapamiento del nicho es limitado por que no toma en cuenta la disponibilidad de recursos y es raro obtener registros de campo sobre la disponibilidad de recursos y si se dispone puede o no corresponder con la especie de interés.

2.6 Relaciones de las poblaciones de lombrices con el suelo

Muchas evidencias señalan a las lombrices como organismos claves en los procesos de circulación de los nutrimentos en agroecosistemas. Sin embargo, se nota la ausencia de investigaciones en selvas y pastizales y la supremacía de los trabajos relacionados con especies exóticas, especialmente lumbrícidos; no obstante actualmente hay interés por estudiar otras especies de la familia Glossoscolecidae y Megascolecidae (Parmelle et al, 1998; Lavelle et al, 1999). Parte de esas investigaciones se relacionan con la introducción de lombrices en suelos del trópico o, buscaban comprobar hipótesis relacionadas con el ecosistema versus la intervención para generar formas de manipulación de procedimientos biológicos y de recursos para mantener y mejorar la fertilidad. Por ejemplo, en Lamto (Costa de Marfil), después de cinco ciclos de cultivo, la biomasa de *Millsonia anomala* se limitó a pocos g m⁻² debido a la baja calidad nutritiva del suelo. Así mismo, en Yurimaguas (Peru) la biomasa fue más alta (40 gm⁻²) en cultivos que recibieron aplicación

de leguminosas, con valores máximos de más de 80 g. En el quinto ciclo de cultivo la biomasa fue significativamente más baja en los tratamientos con residuos de cosecha y de leguminosa verde. Así mismo, las lombrices afectaron significativamente la estructura física del suelo, al incrementar la macroagregación, la densidad aparente y al disminuir las tasas de infiltración del suelo. De igual forma, se modificó la actividad microbial, con altas tasas de N mineralizable durante las fases tempranas; además en el quinto ciclo de cultivo se liberó menos nitrato en los tratamientos con lombrices y la biomasa microbial fue 10 al 40% más grande (Lavelle et al, 1998; Lavelle, et al, 1999).

En La Mancha (México), la producción de plantas se incrementó en 10 de los 20 ciclos mientras que en Lamto en el tercer ciclo de cultivo, la biomasa decreció a pocos g m⁻² y la producción de grano de maíz fue baja (10-20%). En la Mancha la biomasa de *P.corethrurus* fue de 21 y 27 g en tratamientos con insumos orgánicos y de 10-12 g en tratamientos sin mantillo (Lavelle et al, 1998; Lavelle, et al, 1999).

En Yurimaguas, por el contrario, el suelo fue rico y la biomasa promedio para los cinco primeros ciclos de cultivo decreció desde 50 g (en tratamientos con desechos más leguminosas verdes), pasando a aquellos con aplicación de desechos (40 g), hasta los tratamientos sin insumos orgánicos (30 g m⁻²). En los ciclos de maíz continuo donde se introdujeron lombrices y fertilizantes, después del tercer cultivo, la producción se incrementó (Lavelle et al, 1998; Lavelle, et al, 1999). Después de seis cultivos sucesivos, las lombrices incrementaron las proporciones de macroagregados (>2 mm) de 25.4 a

31.2%. Los cambios en la agregación dieron como resultado ligero incremento de la densidad aparente y decrecimiento significativo de las tasas de infiltración (0.15 cm^2) y sortividad (Lavelle et al, 1998).

En otras investigaciones, la adición de lombrices incrementó las concentraciones de nitratos con la profundidad del suelo (30-45 cm) (Blair et al, 1996). Así mismo, Subler et al (1997), con adición de lombrices, encontraron alto volumen de lixiviados a 45 cm y altas concentraciones de N orgánico disuelto comparado con el control.

Parmelee et al (1998) plantearon la necesidad de incorporar a la investigación de suelos, modelos presupuestales para comparar el flujo de los nutrimentos cuando hay presencia o no de lombrices. Los autores afirman que cuando las lombrices se presentan ocurren cambios en el tamaño de varios depósitos y flujos de C y N, se reduce el tamaño de los depósitos de mantillo superficial e incrementan las partículas de materia orgánica y de la biomasa microbial en la heces. Así mismo, permiten la formación de agregados estables que pueden llevar a la protección del C y N a largo término. Otros estudios han confirmado el mayor contenido de C y N y más alta relación C : N en heces o turrículos de lombrices que en el suelo no ingerido y han encontrado diferencias entre los contenidos de heces de especies nativas o exóticas, o de diferente categorías ecológicas (Fragoso et al, 1993)

2.7 La variabilidad espacial y temporal

Uno de los aspectos que ha despertado más la atención de los investigadores es determinar las relaciones entre abundancia y de biomasa de diferentes especies para comprender la organización de la comunidad y los fenómenos (competencia, depredadores y perturbación) que las afectan.

Frente a éste interrogante los investigadores han adoptado uno de dos enfoques: mecanístico o estático. El primero asume que los patrones (forma como se distribuyen las poblaciones en el sitio donde viven) de abundancia y biomasa representan un estado de equilibrio dinámico, el cual es susceptible a variación en escalas espacio – temporales y se puede observar en condiciones experimentales. Por el contrario, el segundo se enfoca en la descripción e interpretación del momento (snapshot) de los patrones de abundancia de especies y de los procesos totales desintegrados (Tokeshi, 1993).

También, la medición de la diversidad de especies se ha desarrollado a partir de dos enfoques: paramétrico y no paramétrico. El paramétrico asume que la distribución de las especies en la comunidad sigue algún modelo de distribución teórica. Según Southwood (1978) y May (1978) este enfoque permite usar la información de una comunidad con el uso de modelos matemáticos que describen la relación entre el número de especies y sus abundancias. Entre los modelos más conocidos están las series geométricas, logarítmico, log normal y vara partida; los cuales se diferencian biológicamente por el grado de importancia que cada uno le asigna a: 1) especies abundantes (comunes), 2) las especies de abundancia moderada (intermedias) y 3) las especies con pocos individuos (raras).

Las comunidades son mezclas de especies desiguales; en ellas pocas dominan y su masa y actividad biológica afectan las condiciones ambientales de otras, que se denominan, de acuerdo con su abundancia, como especies intermedias o raras, lo cual determinará la riqueza y diversidad de una comunidad (Whittaker, 1965). El estudio de comunidades vegetales y animales en ocasiones exige estandarizar parámetros como la abundancia (individuos y biomasa por volumen de suelo) para poder comparar y comprender el papel y lugar de especies de diferente tamaño y composición; para tal fin Tokeshi (1993) propuso aplicar modelos orientados al nicho (estocásticos y no determinísticos) para fragmentar la estructura de la comunidad, alejándose de los estadísticos (log normal, log series, binomial negativo y Zip-Mandelbrot), los cuales son considerados por este autor como estáticos, vagos y que no definen o representan procesos ecológicos particulares; por lo tanto son descriptivos y neutrales pero no explican los procesos ni la dinámica en la estructura de comunidades; por lo tanto la cuantificación significativa de los modelos orientados estadísticamente es más una ilusión que realidad.

Es necesario llamar la atención a tres aspectos que demarcan la ecología de comunidades: límites taxonómico, espacial y temporal, los dos últimos a menudo son vagos y se hace necesario determinarlos arbitrariamente de acuerdo con el objetivo de la investigación y la utilidad de los muestreos. Análogamente la escala temporal de una comunidad se puede definir con relación a patrones y duración de ciclos de vida de especies, sin embargo, las comunidades sufren rápidos cambios en la abundancia relativa, lo cual requiere cuidadosa consideración. El conocimiento explícito de la variación espacial y temporal de una

comunidad es factible de analizarse, determinando los patrones y los procesos de abundancia de especies en ecología de comunidades, cuando éste no se tiene en cuenta, es altamente relevante tomar el patrón de abundancia de especies (Tokeshi, 1993).

De otro lado, es valioso determinar la clase de datos a manipular por medio de modelos tales como Log series, Log normal y truncado negativo binomial que tienden a tener límites espacial y temporal confuso. Es conocido en el caso del log normal, que la cola de la frecuencia de distribución revela cómo están conducidos los muestreos en una escala espacio temporal para así comprender más la agrupación heterogénea de las especies. Además, en teoría, el modelo log normal se puede interpretar como una representación de agrupaciones de especies ilimitadas, las cuales apenas pueden llamarse comunidad.

Otro elemento conceptual en el estudio de comunidades de especies animales o vegetales es el muestreo, el cual presume definir de manera arbitraria y a partir de una pequeña porción, el comportamiento y los procesos de los individuos de una comunidad. Si la inferencia se hace a partir de muestras, es importante conocer la exactitud con la cual los muestreos reflejan pertinentemente a la comunidad; sin embargo, la exactitud no se puede evaluar objetivamente, a menos que se conozca la composición de la comunidad parental. Este dilema es particularmente agudo en el análisis de patrones de especies donde la abundancia relativa es altamente susceptible del antojo de los muestreos, por lo tanto, si se hacen al azar ofrecen el mejor prospecto para revelar los patrones de una comunidad.

Al muestrearse al azar, el análisis de patrones de abundancia es significativo solamente si se refiere a individuos de diferentes especies, por ejemplo, cada individuo tuvo la misma probabilidad de cateo. Sin embargo en algunas circunstancias, el muestreo al azar se refiere al arreglo espacial de unidades tales como cuadrados y trampas, los cuales no necesariamente garantizan la representación exacta de la abundancia relativa de las especies.

La naturaleza de los muestreos al azar implica que las especies puedan estar representadas por encima o debajo y así dando una falsa impresión de la representación de una comunidad. Las especies raras son susceptibles a la representación por debajo y pueden desaparecer en un muestreo. Este problema es puntual cuando se estiman los índices de diversidad, incluyendo los de riqueza de especies (por ejemplo el número total de especies) en una comunidad, mientras que los patrones de abundancia de especies pueden no estar influidos. Según Tokeshi (1993) Preston fue el primero en describir la variación estocástica en abundancia relativa debido a los muestreos al azar; el contrastó muestreos al azar con perfectos. Los perfectos se pueden alcanzar sin conocimiento a priori de la abundancia relativa en el universo de los muestreos. Así la abundancia relativa probada para todos los muestreos siempre se pudo considerar diferente de los valores verdaderos perteneciente a una comunidad.

Los modelos de abundancia estocástica, se acomodan más fácilmente que los determinísticos al concepto de variación muestral cuando las comparaciones se hacen con datos de campo por su habilidad para distinguir y describir algunos procesos, mientras que

los determinísticos son estáticos y solo permiten visualizar el momento del proceso. Así mismo, los modelos orientados estadísticamente tales como log series y normal son determinísticos y no permiten estimar la variación de los valores de frecuencia, aunque en teoría ellos consideran algunos procesos estocásticos (Tokeshi, 1983).

3. METODOLOGÍA

3.1 CARACTERIZACION DE LA ZONA ESTUDIADA

3.1.1 Area de estudio

El trabajo se realizó en la Cuenca hidrográfica del Río Ovejas, localizada en la vertiente occidental de la Cordillera Central, al norte del departamento del Cauca, Colombia (Figura 4). La cuenca limita al norte con el divorcio de los ríos Teta y Quinamayó, al sur divorcio de aguas del río Piendamó, oriente divorcio de aguas del río Jambaló y al occidente con el río Cauca; se extiende en 105.155 ha y comprende alturas entre los 1100 hasta los 3000 m.s.n.m. En ella se seleccionó la subcuenca del río Cabuyal de aproximadamente 7.000 ha, y situada entre 76° 33' – 76 ° 30' longitud oeste y 21° 42'- 21° 52' latitud norte; con alturas entre 1250 y 2200 m.

Los muestreos de la macrofauna se realizaron en las partes media (1450 - 1550 m) y alta (2000 - 2200 m). La vegetación predominante son los pastos introducidos como guinea (*Panicum maximum*), pará (*Brachiaria mutica*), puntero (*Hiparrhenia rufa*), pangola (*Digitaria sp*) y estrella (*Cynodon dactylon*);

Colombia
 Area: 1'141.748 km²
 Lat N: 12°00'40"
 Lat S: 4°13'30"
 Long O: 66°50'40"
 Long Or: 70°01'23"

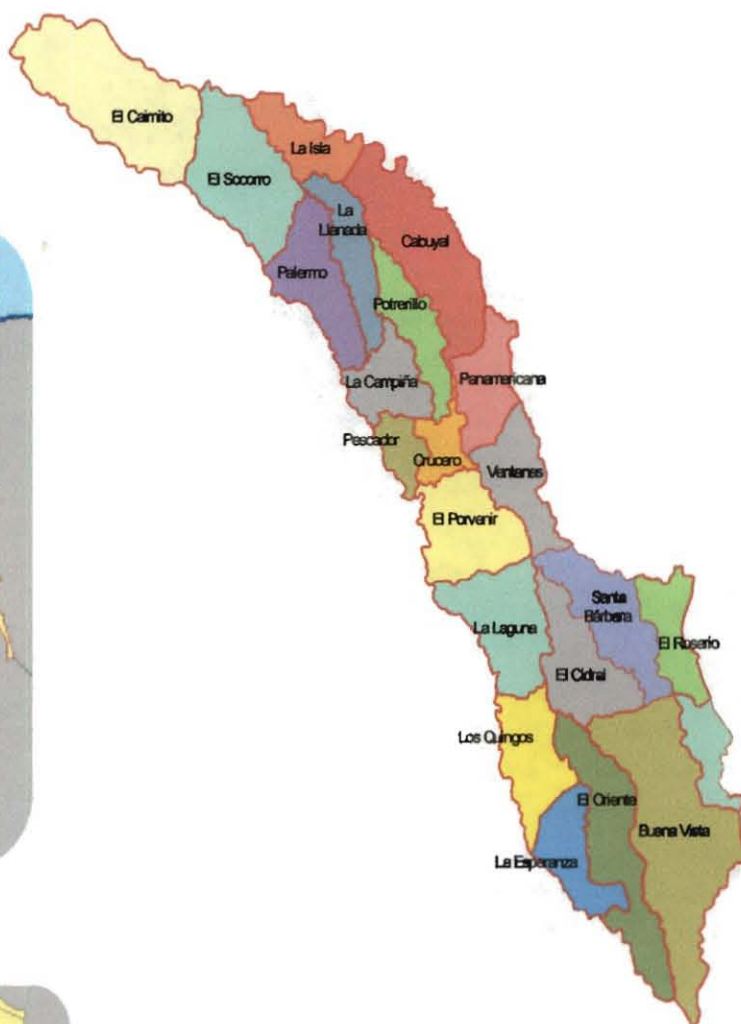


Figura 4. Localización geográfica y división política de la subcuenca del río Cabuyal

en las laderas andinas el pasto yaraguá (*Melinis minutiflora*) y a mayor altura Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (Parson, 1979). Los vestigios de selva secundaria se conservan en los cañones de cordilleras, márgenes de ríos, quebradas y nacimientos.

Entre 1200 y 1650 m, los suelos se agrupan como Conjunto Pescador (Oxic Dystropept), Suelos localizados en el altiplano de clima medio a húmedo, derivados de ceniza volcánica (alofana > 60%), de sedimentos de la formación Popayán, profundos, de texturas medias a finas, bien drenados, sin concreciones ni grietas y de color gris oscuro a pardo grisáceo, tienen alta capacidad de intercambio catiónico, bajos en bases, de bajo a mediana saturación de bases, alto contenido de carbono orgánico, bajos en fósforo aprovechable y medianamente ácidos; su epipedón es úmbrico, con horizonte subsuperficial cámbico, régimen de humedad del suelo údico, saturación de bases menor del 50% en todo el perfil y con capacidad de intercambio catiónico menor de 24 meq/100 gramos de suelo.

Entre los 2000 y 3000 m, los suelos se agrupan en la Asociación Usenda (Typic Dystrandept), cubiertas por espesos mantos de cenizas volcánicas que se encuentran en los flancos y en las cimas de las ondulaciones, dentro del paisaje llamado plano intramontano de clima frío húmedo. El epipedón úmbrico, tiene un horizonte subsuperficial cámbico y régimen de humedad del suelo údico. Son suelos profundos, con texturas francas, bien drenados y con capacidad catiónica alta, medianas bases totales, baja saturación de bases, alta capa arable, carbono orgánico muy alto en la capa arable y normal en los horizontes

subyacentes, bajos en fósforo y con pH ácido (5.6 – 6.8) y saturación de bases menor del 50% en todo el perfil.

Otras asociaciones que se destacan en los alrededores del paisaje son Suárez, con material parental compuesto por sedimentos de la formación Cauca (areniscas y lutitas) y con inclusiones de la formación Popayán. El relieve es fuertemente quebrado y escarpado con pendientes entre 25 y 50% y mayores, con erosión moderada a severa y epipedón úmbrico o un horizonte subsuperficial cámbico, régimen de humedad ústico y decrecimiento regular del carbono orgánico con la profundidad, de mediana capacidad de intercambio catiónico, son bajos en bases totales y en saturación de bases, contenido de fósforo y pH ácido (5.0 – 5.2). La mayoría de los suelos incluidos en esta unidad se cultivan con café y plátano, están localizados al occidente del municipio de Caldono, en alturas menores de 2000 m.

La asociación Farallones, localizada al Oeste y Suroeste de los municipios de Silvia y Caldono, entre los 2000 y 3000 m de altitud, con relieve escarpado y pendientes fuertes, son suelos originarios de rocas ígneas (andesitas) desde superficiales a moderadamente profundos, limitados por el material parental y de texturas franco finas a finas, con buen drenaje y de color pardo oscuro. En su mayoría los suelos están dedicados a selvas y en los menos pendientes con ganadería y cultivos de fique; tienen alta capacidad de intercambio, bajos en bases totales y saturación de bases baja a mediana con pH ácido (5.4 – 5.5). El epipedón es úmbrico, horizonte subsuperficial cámbico, régimen de humedad del suelo údico, saturación de bases menor del 50% en todo el perfil, contenido de carbono orgánico

menor de 12 kg. /m³ de suelo y fracción mineral influida por material amorfo (IGAC – CVC, 1979) (Figura 5).

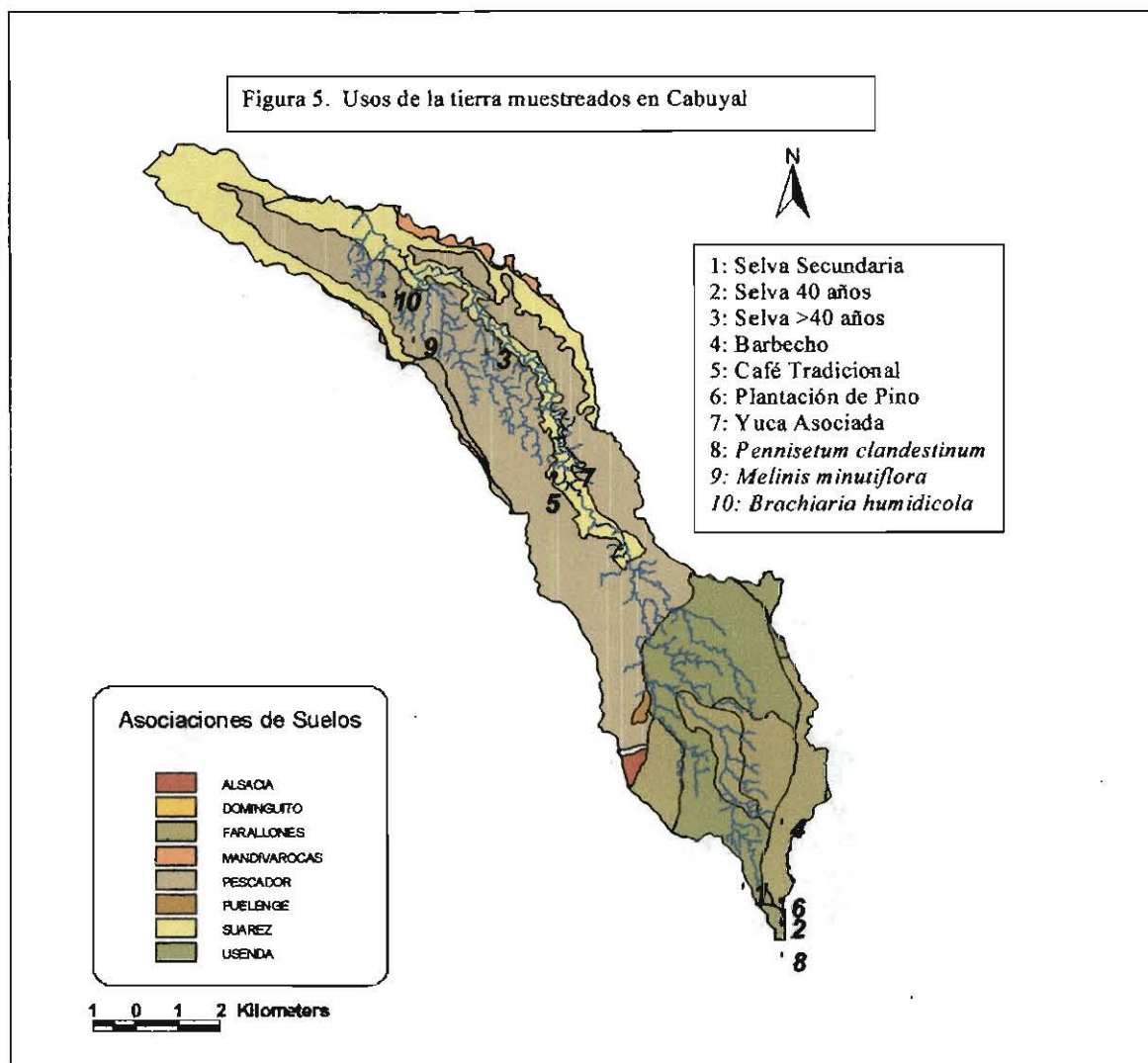
La mayoría de los suelos de las laderas son clasificados como Inceptisoles y Andisoles y derivan, en alto porcentaje, sus características químicas, físicas y mineralógicas de las cenizas volcánicas, lo que les confiere condiciones especiales a escala local y regional, tales como, susceptibilidad a la erosión por la irregularidad del relieve y la alta pendiente de las cadenas montañosas, los altos contenidos de materia orgánica, la cual al combinarse con los silicatos y arcillas, cumplen la función de agentes cementantes (Gavande, 1972), y alta capacidad de floculación entre partículas primarias que se atraen y se unen fuertemente (Baver, *et al.* 1972).

3.1.2 Características climáticas de la subcuenca del río Cabuyal

El clima de la zona es bimodal con dos temporadas secas (diciembre – febrero y junio - agosto) y dos lluviosas (marzo – mayo y septiembre - noviembre) (IGAC, 1976). La zona de vida se clasifica como bosque húmedo subtropical (bh - ST).

La precipitación promedio anual fue de 1985 mm, la media de 156 mm y la moda mensual de 146. Las lluvias variaron de un año a otro, con picos máximos en abril y mayo (para el primer semestre) y octubre noviembre, diciembre y enero (para el segundo), con precipitaciones cercanas a los 200 mm (Gráfica 6); sin embargo, Muller et al (1992)

encontraron entre 1988 – 1992 que la energía cinética por mm ha sido constante entre 1998 – 1992 y que mostró correlación muy estrecha con la cantidad de lluvias totales ($r = 0.93$).



La temperatura promedio anual fue de 21°C, con picos máximos en agosto, septiembre de 1994 (29.6 y 30.6°C), enero, febrero de 1995 (29 y 30.5°C) y julio, agosto de 1996 (29.6 y 30.7°C), mientras que los picos mínimos se presentaron en julio, agosto de 1994 (12.5 y

13.3°C), enero, febrero de 1995 (13.3 y 12.9°C) y julio, agosto de 1996 (12.8 y 12.3°C), meses que coinciden con las temporadas secas de la subcuenca (Figura 6).

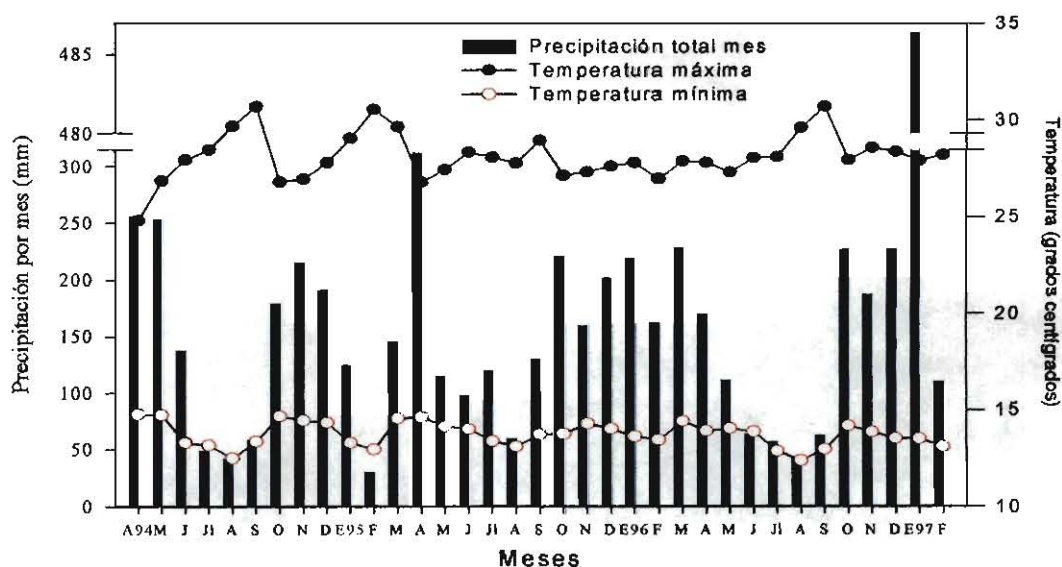


Figura 6. Precipitación y temperatura promedio mensual máxima y mínima desde abril de 1994 hasta febrero de 1997 en la subcuenca del río Cabuyal

3.2 METODOS DE ESTUDIO

3.2.1. Fase Uno: Geografía de lombrices de tierra de Colombia

En esta fase se clasificó la información sobre oligoquetos de Colombia y se estudiaron las colectas hechas por el autor durante los años 1986 –2000 para determinar los patrones biogeográficos de distribución de las poblaciones de lombrices de tierra en las regiones de

Colombia (Caribe, Pacífico, Andina, Llanos Orientales y Amazonia), de acuerdo con el clima, tipo de suelos y diversos pisos altitudinales. Para tal fin se revisaron los trabajos de Michaelsen (1900; 1910; 1913; 1918) , James (1990), Ayala et al (1972), Chamorro (1981; 1986), Fajardo y Prince (1975), Zicsi (1988a,b, 1989a, b, c; 1990; 1992 y 1993) y Righi (1984, 1989, 1995) y Van Der Hammen y Righi (1995), Jiménez et al (1995, 1998a, b). La posición de las especies se describió según las clasificaciones de las zonas de vida propuesta por Cuatrecasas (1958) y Rangel (1994), que toman en cuenta la variación de la temperatura a lo largo del gradiente altitudinal y los cambios en el tipo de vegetación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Zonas de vida de Colombia

Zonas de Vida	Rango Altitud (m)
Ecuatorial (Z.V.E)	0 –1100
Subandina (Z.V.S)	1100 – 2350
Andina (Z.V.A.)	2350 – 3500
Paramuna (Z.V.P.)	> 3500

3.2.2 Fase Dos: Cuantificación de la macrofauna

En la fase dos se cuantificó y describió la estructura y composición de la macrofauna del suelo en diez tipos de uso de la tierra. Se escogieron diez usos de la tierra (Figura 5) según la metodología del Programa “Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)” (Lavelle, 1988;

Anderson e Ingram, 1989). La selección del área de muestreo se hizo de acuerdo con el tipo y frecuencia de uso de la tierra, previa delimitación por medio de la información biofísica de las fotografías aéreas (Urbano et al, 1995) y realizando recorridos por la subcuenca con el equipo de trabajo del Proyecto Laderas (PE-3) del CIAT.

La selección permitió diferenciar los siguientes agroecosistemas en la subcuenca (Figura 5):

- I. **Selva Secundaria (S.S.).** La vegetación conserva características de la selva Subandina, los árboles del dosel tienen protuberantes bases de sostén, columnarios y lisos, con "copas y subcopas" en forma de cúpula", tipo *Quercus sp*; en el sotobosque se destacan arbustos acompañados de helechos, heliconias y el complejo epibiofítico (Anexo 1).
- II. **Selva de 40 años (S. 40).** La vegetación original se taló para sembrar pastizales (*Panicum maximun* y *Melinis minutiflora*), y se permitió, durante aproximadamente 40 años, el recrecimiento de vegetación secundaria. Los árboles no son de gran tamaño y se destacan algunos arbustos de Miconias, *Cecropia*, *Philodendrum*, *Tectaria*
- III. **Selva de más de 40 años (SU >40)** Sitio caracterizado por la extracción seleccionada y quema de árboles tipo *Quercus humboldti* para producir carbón. Los árboles se seleccionan, se talan y posteriormente se amontonan en un sitio (zanja o hueco) para la quema; el sistema permite la supervivencia de árboles y arbustos que no son aptos para extracción de carbón.

- IV. **Barbecho (B).** Luego de dos o tres cosechas, los agricultores dejan en descanso los lotes, los cuales son colonizados por la vegetación del banco de semillas del suelo, especialmente *Pteridium sp* y *Miconia sp*.
- V. **Cultivo de Café Tradicional (C.C)** Sistema de cultivo con presencia de diversos estratos en el cual conviven café, plátano, banano, cítricos, guayaba, piña y leguminosas (*Inga sordida* y acacia), además de otras especies de porte arbustivo, dosel y arvenses. El sistema se caracteriza además por las bajas aplicaciones de insumos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas) y el no uso de labranza.
- VI. **Plantación de Pino.** *Pinus patula*, sistema con 18 años de establecido, se caracteriza por presentar piso tapizado por acículas formando especie de “colchón y con poca vegetación arvense acompañante.
- VII. **Cultivo Asociado de Yuca, Frijol y Maíz.** Antes de la temporada de lluvias el suelo se prepara con energía animal y se aplica abono orgánico (gallinaza), después de tres meses se cosechan el frijol y maíz; la yuca después de 14 a 16 meses. Los muestreos se realizaron después de la cosecha de frijol y maíz cuando la yuca tenía entre siete u ocho meses.
- VIII. **Pastizal *Pennisetum clandestinum***
- IX. **Pastizal *Melinis minutiflora***
- X. **Pastizal *Brachiaria humidicola***

P. clandestinum, pasto kikuyo, y *M. minutiflora*, pasto yaraguá o gordura, se introdujeron a Colombia en 1920 (Molano, 1992) y *Brachiaria humidicola*, en 1986 por el Programa de

Forrajes del CIAT (Fisher, M. comunicación personal). Las tres especies se presentan acompañadas por vegetación arvense y arbustos; son de baja productividad, reciben altas cargas animales y ninguna aplicación de insumos ni labranza.

En los sitios se eliminaron bordes y cabecera y se situaron los puntos para los muestreos a distancias mínimas de 10 m, en los cuales se cateó cada quince días durante cinco meses. En cada muestreo quincenal por sitio se abrió una zanja de 30 cm alrededor del monolito (25 x 25 x 30 cm de profundidad) y se colectó la macrofauna en capas cada 10 cm, desde mantillo hasta 20 –30 cm de profundidad (Figura 7).

Los macroinvertebrados se agruparon en unidades taxonómicas (hormigas, termitas, lombrices, coleópteros, miriápodos, arácnidos y otros) y se determinaron orden, familia, género o especie dependiendo del nivel de conocimiento del autor, cuantificando su abundancia (individuos x 0.62 m^{-2}), biomasa (gramos de peso fresco) y riqueza de especies (número de especies por sitio).

Especialistas en hormigas, Rosa Aldana (CENIPALMA, Villavicencio), en coleópteros, Luis Carlos Pardo (INCIVA, Palmira) y en arácnidos, miriápodos, termitas e himenópteros, María del Pilar Hernández (CIAT, Cali), colaboraron en la determinación, para los grupos restantes se hizo con la asesoría de funcionarios de los laboratorios de entomología de las Universidades Nacional de Colombia, Palmira y del Valle. El autor determinó las

lombrices hasta género o especie usando claves comparativas (Feijoo, 1993; Zicsi y Feijoo, 1994; Zicsi, 1997; Zicsi y Csuzdi, 1997 y Righi, 1995), que tienen en cuenta criterios como

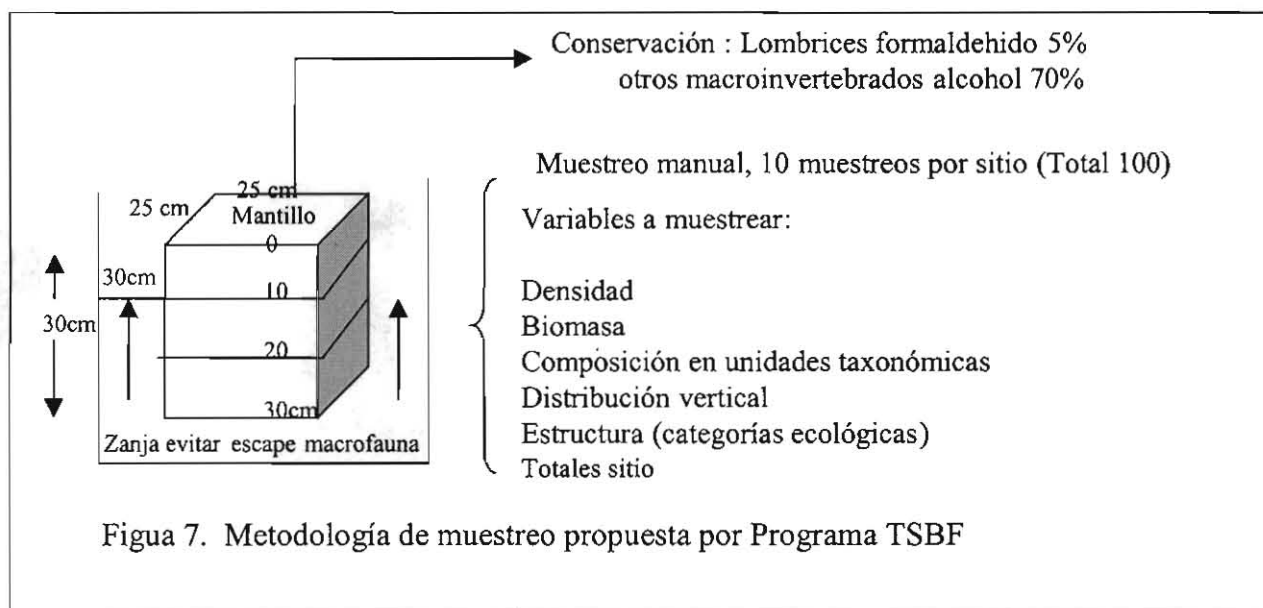


Figura 7. Metodología de muestreo propuesta por Programa TSBF

posición del clitelo, bandas de la pubertad, distancia setal, posición de la molleja, número de espermatecas y glándulas calcíferas, estructura de la glándula, morfología de los nefridios. La comprobación de la determinación de las especies la hicieron Ana G. Moreno (Universidad Complutense, España) y András Zicsi (Universidad de Eötvös Loránd, Hungría).

En cada sitio se tomaron cinco muestras de suelos, cada una procedente de 12 submuestras de 0 a 30 cm de profundidad, a las cuales se les determinó en el laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT, el porcentaje de carbono (colorimetría), fósforo (Bray II), pH (proporción suelo agua 1:1), aluminio, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno total y textura (Bouyucos).

En cada sitio se hizo inventario cualitativo de la vegetación; el material fue determinado en el Herbario de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, con la colaboración del Ing. Forestal Eugenio Escobar.

3.2.3. Fase Tres. Estructura de comunidades de lombrices

En esta fase, se amplió el análisis de las comunidades de lombrices de tierra debido a la importancia que le dieron los agricultores de la subcuenca del Cabuyal a las lombrices como indicadoras de la salud del suelo en la encuesta socio económica y productiva que realizaron los miembros del Proyecto Laderas (PE-3) del CIAT en 1993, y por los resultados que arrojó el inventario de la macrofauna en la fase dos del proyecto; en la cual se encontró el predominio en biomasa de lombrices en la mayoría de los sitios (nueve).

Por consiguiente, se seleccionaron dos tipos de uso de la tierra (Selva de más de 40 años y el Pastizal de *Pennisetum clandestinum*) teniendo en cuenta la alta biodiversidad de lombrices y la distancia entre los dos usos. El diseño se basó en un muestreo estratificado, para el cual se delimitó un área de 200 x 200 m con eliminación de efectos de borde, éste a su vez se subdividió en 120 cuadrículas de 10 x 10. En el centro de cada cuadrícula, durante 18 meses se tomaron entre 4 y 12 muestras al azar por mes. El muestreo tiene especial interés para lugares donde no se conoce información de las poblaciones muestreadas y donde se presume alta heterogeneidad espacial de las variables propuestas tales como abundancia y biomasa (Gauch, 1982; Lavelle, 1978; Fragoso, 1993). Además,

el comportamiento de las poblaciones de lombrices aun no está modelado, por lo tanto la estadística de fenómenos biológicos como éstos está en proceso de validación. Para lo cual, se propuso estudiar la estructura de poblaciones de lombrices en los dos usos de la tierra y se cuantificó y midió para cada monolito la abundancia (individuos / m⁻²), biomasa (gramos de peso fresco por m⁻²) y se separaron de acuerdo con el estado de desarrollo y se calculó la riqueza (número de especies por sitio y monolito), diversidad (índices de Shanon – Wiener e inverso de Simpson), variaciones temporales y distribución vertical por sitio (Figuras 8, 9 y 10).

3.2.4. Fase Cuatro, Relaciones de las lombrices con algunos parámetros abióticos

En la fase cuatro, se colectaron los registros de precipitación (mm) y de temperatura (grados centígrados) ambiental tomados por los agricultores Manuel A. Trujillo y Marino Peña y las estaciones instaladas por miembros de proyecto PE-3 de Laderas del CIAT.

En los dos tipos de uso de la tierra; además, se tomaron tres muestras para humedad gravimétrica en campo, en capas de 10 hasta 60 cm de profundidad del suelo, se calculó la humedad volumétrica utilizando la siguiente expresión:

$$\theta_{vol.} = \frac{(\text{Masa en equilibrio} - \text{Masa del suelo seco}) \times 100 \times D_{ap}}{\text{Masa del suelo seco}}$$

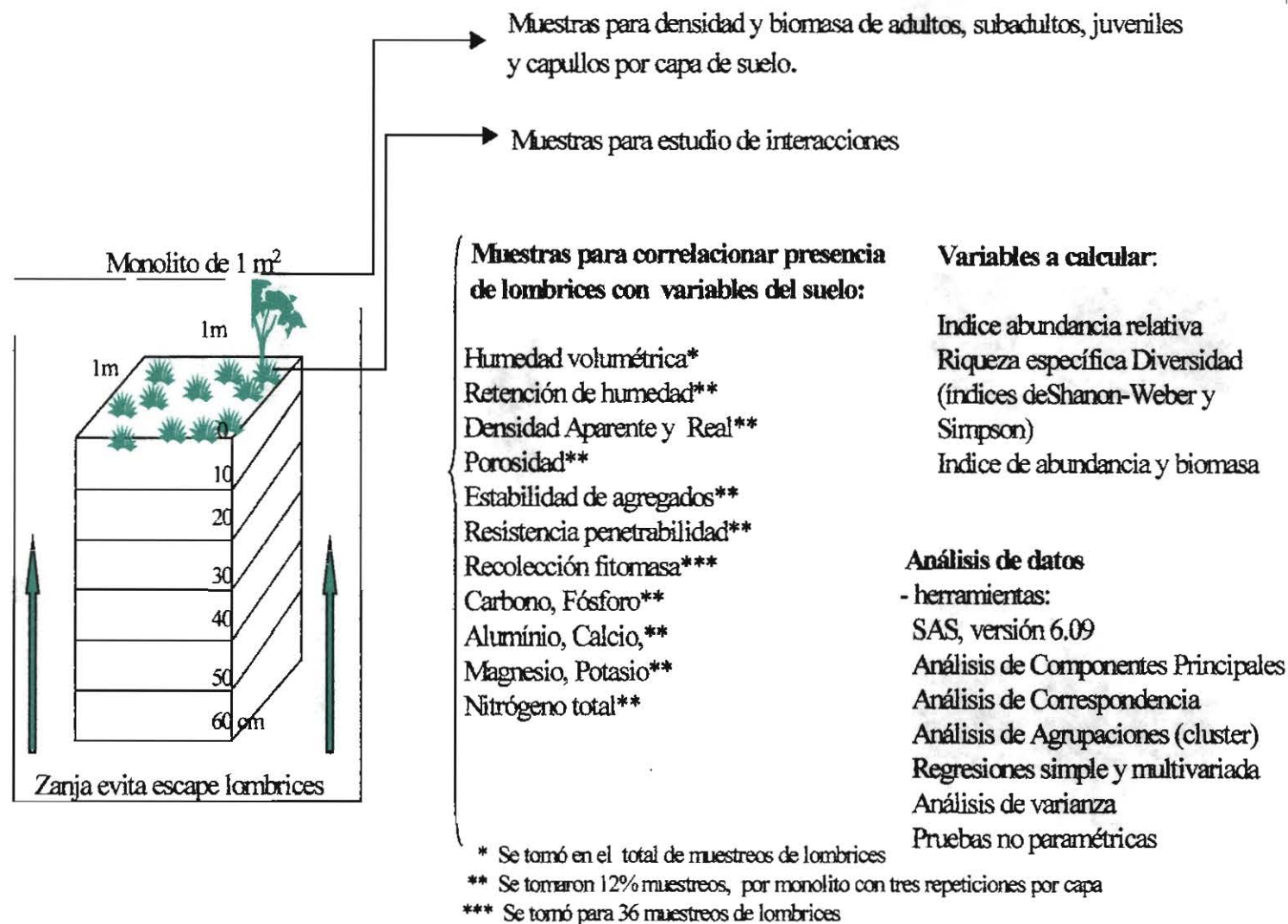
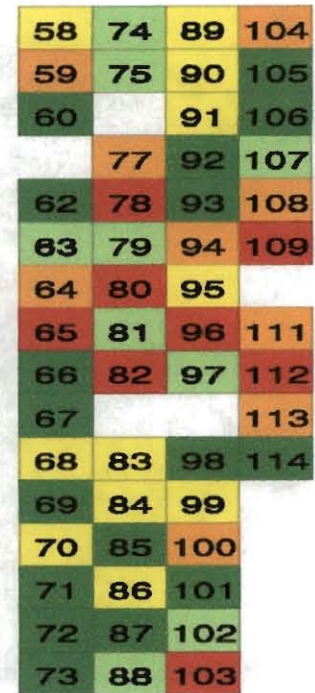
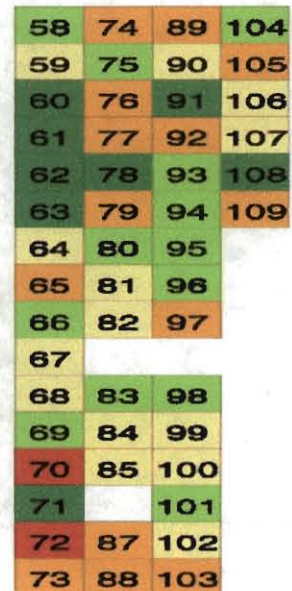


Figura 8. Metodología y variables a medir para muestreos de lombrices durante 18 meses

La Selva >40 años

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57

[illegible]

La Densidad real se determinó por el método del picnómetro y la aparente con la relación entre la masa de una porción de suelo (M_s) y el volumen total de la masa (V_t) (Gavande, 1979). Para medir retención de humedad se saturaron las muestras, pesaron y sometieron a succiones crecientes en la mesa de tensión (25, 50 y 75 cm). Luego se llevaron a los platos de presión para extraer el agua a 1.0 y 1.5 Mpa durante 8 días, la humedad se expresó en forma volumétrica. Además se determinó la estabilidad de agregados (metodología de Yoder, 1936), en tamices de diámetro menor de dos mm (2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.125), en los cuales se depositaron 50 g de suelo para determinar en húmedo; así mismo se determinó la textura por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962).

Los parámetros se midieron para 12% de los 111 y 108 muestreos de lombrices con dos a tres repeticiones por cada capa entre 0-60 cm de profundidad.

Para medir la resistencia a la penetración en cada área se trazó una línea recta y se situaron cinco puntos de muestreo con tres repeticiones, se utilizó un penetrómetro marca crust hardness meter dik de varilla y tarjeta para registrar la medida. Además, se determinaron el carbono (colorimetría), fósforo (Bray II), aluminio, calcio, magnesio, potasio y nitrógeno total en los Laboratorios de Servicios Analíticos del CIAT y la Universidad Nacional de Colombia, Palmira.

En 36 monolitos de 1m^2 se colectó y cuantificó el peso seco a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la fitomasa superficial con el fin de establecer relaciones con presencia de especies lombrices.

3.3 Análisis de la información

Para realizar el análisis descriptivo de la información, análisis de componentes de varianza, análisis de componentes principales y de conglomerados, análisis de varianza y regresiones de la cuantificación de la macrofauna de la fase dos y el estudio de la estructura de las poblaciones de lombrices de la fase tres, se utilizaron los Programas SAS 609, Estadística 6.0 edición 98, Programa S-Plus 2000 y como graficador Sigma Plot versión 4.

Para el análisis de la distribución horizontal de las comunidades de lombrices se estimaron los índices de abundancia o biomasa relativa, mediante la siguiente relación:

$$\text{Índice de abundancia o Biomasa} = \frac{\text{Densidad o biomasa de la submuestra o monolito}}{\text{Densidad promedio del mes}}$$

Posteriormente, se calcularon tamaños de clase con la fórmula de Sturges ($K=1+3.3 (\log_{10})$) y se determinó el número de submuestras en cada clase de acuerdo con el valor del índice.

Los tamaños de clase fueron los siguientes:

Muy bajo:	< 0.615,
Bajo:	0.62 – 0.975,
Medio:	0.98 – 1.33,
Medio alto:	1.34 – 1.695,
Alto:	1.7 – 2.05,
Muy alto:	2.06 – 4.1.

Como se observa los valores del índice pueden fluctuar entre 0.6 para abundancia o biomasa por monolito, lo que indicó valores por debajo del promedio y 4.1 para los muy altos. Por ejemplo, en la submuestra 86 tomada en enero, la abundancia total fue de 180 individuos por m^{-2} y el promedio del mes 127.4, con ésta información se calculó el valor del índice que para éste caso fue de 1.41. Esta información permitió agrupar las observaciones y determinar el patrón de distribución, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis nula:

Ho: Las muestras tomadas en los dos sitios provienen de la misma población

En la corroboración o rechazo de la hipótesis se emplearon las pruebas de Chi cuadrado y Wilcoxon con un nivel de confianza del 5%. Además para evaluar la homogeneidad o diferencias entre submuestras para cada sitio se utilizó la prueba de Kruskal – Wallis con los siguientes supuestos:

-Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_n$, por lo tanto, al tomar k muestras independientes por sitio éstas provenían de poblaciones idénticas

Ha: $\mu_1 ; \mu_2 ; \mu_3 ; \mu_4 ; \mu_5 ; \mu_n$,

De otro lado, se determinaron los patrones espaciales de distribución de acuerdo con la varianza y media de las poblaciones por sitio: $S^2 = \mu$, agrupados; $S^2 > \mu$, al azar; $S^2 < \mu$, uniformes.

Conociendo la forma de distribución de las poblaciones se establecieron los siguientes pasos que permitieron tomar decisiones:

Paso. 1: El número de individuos por unidad de muestreo sigue cualquiera de las distribuciones: Poisson (patrón al azar), binomial negativa (agregado) y binomial positiva (uniforme) .

Paso 2: Se sintetizó el número de individuos por unidad de muestreo como una distribución de frecuencia, que tiene el número de individuos de las unidades de muestreo con 0,1, 2... r individuos.

Paso 3. Las poblaciones de lombrices no presentaron un patrón de distribución normal, por lo tanto se probó con otros modelos como el binomial negativo $p(x)$, que considera que la probabilidad de encontrar x individuos en una unidad de muestreo es, $P(x)$, donde $x = 0, 1, 2, \dots, r$ individuos, es decir la probabilidad que ocurra el k -ésimo éxito en el x -ésimo intento, los cuales están dados por

$$P(X) = [\mu / (\mu + k)]^x \{ (k+x-1)! / [x!(k-1)!] \} [1 + (\mu/k)]^{-k} \quad \text{Ecuación (1)}$$

El parámetro μ es estimador de la media muestral (\hat{y}) y el parámetro k es una medición del grado de agregación y tiende hacia cero cuando es máxima. El estimador de k se obtiene utilizando la siguiente iteración:

$$\text{Log}_{10}(N/N_0) = k \log_{10}[1 + (x/k)] \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde N es el número total de submuestras y N_0 es el número de submuestras con 0 individuos. Así mismo, se puede obtener un buen estimador de k para la primera iteración de la siguiente manera:

$$K = \frac{X^2}{S^2 - X} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde S es el estimador de la varianza de las muestras.

Cuando el promedio es pequeño (menor de 4), la ecuación 2 es una vía eficiente para estimar k; si el promedio es mayor de 4, es más eficiente el método interactivo si hay agregación extensiva en la población. Si el promedio de la abundancia de la población y el valor de k son mayores de 4, se prefiere estimar k con la ecuación (3). Obtenidos el promedio y k se determinó las probabilidades de encontrar x individuos en una unidad de muestreo, $P(x)$, donde $x = 0, 1, 2, \dots, r$ individuos (ecuación 1) y luego, con un nivel de significancia del 5%, se probó las diferencias con chi cuadrado o Kolmogorov Smirnov.

El cálculo de la diversidad se realizó con los índices de Shannon – Weaver (1949) y de Simpson (1949), además se estimó la equitatividad, la cual tuvo en cuenta la distribución de los datos de abundancia entre las especies (Ludwig y Reynolds, 1988).

Definidos las características de los patrones de distribución se propuso transformar los datos y establecer modelos hipotéticos de predicción de la variabilidad espacial de la abundancia de la población lombrices por sitio, lo cual consistió en reemplazar cada valor de X obtenido en los monolitos por otro X^T , usando la Ley de Taylor, para lo cual se realizó

la transformación logarítmica de los datos, midiendo la relación entre la varianza (S^2) y media (M) con la formula $S^2 = aM^b$, o su equivalente $\ln(S^2) = \ln(a) + b \ln(M)$. Donde a y b – que expresa las características de la población y el hábitat- son los valores del intercepto y la pendiente respectivamente, y el $\ln(a)$ es una función del método de muestreo. Del cálculo de estos parámetros de la Ley de Taylor dependió la interpretación y significado y el hecho de conocer la relación entre la varianza y el promedio permitió obviar los problemas del muestreo para crear esquemas ágiles donde el tamaño de muestra no es fijo sino que se determinó sobre la marcha, dependiendo de las características de la población (Cuadro 2) (Duque, 1996).

Cuadro 2. Significado de los parámetros calculados con la Ley de Taylor

	Intercepto	Pendiente	Disposición
A	Log (a)	B	
1	0	1	Azar
> 1	> 0	1	Agregada
> 0	Cualquier valor	> 1	Agregada
$0 < a < 1$	< 0	1	Regular
> 0	Cualquier valor	< 1	Regular

Posteriormente, se asumió que la S^2 está en función del promedio de la población de acuerdo con el modelo de Kuno (1969). El hecho de conocer la relación entre varianza y media, permitió tomar ventaja en los problemas de muestreo, para crear esquemas más ágiles donde el tamaño de muestra no es fijo, si no que se determinó sobre la marcha, dependiendo de las características de la población en estudio. Este esquema se llama muestreo secuencial (Duque, 1996), en el cual el tamaño de muestra se definió como variable determinada, a partir de un proceso continuo de realimentación, con la información

obtenida. Si los niveles de la población están determinados como promedios se tiene la siguiente situación: en términos del patrón de disposición espacial, debe conocerse la relación $m^* - M$, o sea los coeficientes α y β de la ley de Iwao: $m^* = a + \beta M$.

Se puede deducir que los límites de confianza en torno al valor crítico M_0 , en términos del total de individuos en las N muestras serán determinados de la siguiente forma (Iwao, 1975):

$$\text{Límites} = N M_0 \pm t \sqrt{N((\alpha + 1) M_0 + (\beta - 1) M_0^2)}$$

variando el valor de N se puede obtener una gráfica o tabla que resuma el plan de muestreo. Tomadas las unidades muestrales al azar se examinaron secuencialmente y se definió la conclusión del muestreo, cuando el número acumulado de individuos caiga fuera de las líneas que marcan los límites de confianza. Valores mayores que el límite superior implican que se ha superado el nivel crítico M_0 y valores inferiores al límite inferior, señalan valores menores a M_0 . Dado el caso que el número acumulado de individuos esté entre los límites definidos se exige continuar con el muestreo hasta llegar a una de las dos zonas definidas anteriormente o hasta llegar a un tamaño máximo de muestra:

$$N \text{ máximo} = Z^2 * \frac{[(\alpha + 1) M_0 + (\beta - 1) M_0^2]}{D^2}$$

Para obtener los límites de confianza se usa una aproximación, lo cual no es exacto, pero en términos prácticos las diferencias son pequeñas, y el sentido es ampliar la zona intermedia o dar más seguridad en las decisiones.

Luego de calcular los coeficientes α y β con la ley de Iwao se procedió a diseñar una propuesta de plan de muestreo secuencial para la abundancia de lombrices, usando los modelos de Kuno y Green (Duque, 1996) (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Parámetros de la Ley de Iwao

Parámetro	Valor	Distribución Espacial
∞	< 0	Tendencia de los individuos a repulsión
	$= 0$	Individuos aislados
	> 0	Individuos agregados
β	< 1	Uniforme
	$= 1$	Al azar
	> 1	Agregados

Cuadro 4. Parámetros calculados para proponer un plan de muestreo secuencial de la abundancia de la población de lombrices en dos usos de la tierra

	Formula	Parámetros	Significado de la Distribución
Ley de Taylor	$\ln(S^2) = \ln(a) + \ln(M)$	a, b	Azar, agregada, regular
Ley de Iwao	$m = \alpha + \beta M$	α, β	Repulsión, aislados, agregados
Modelo Kuno	$T_n = \alpha + 1/D^2 - ((\beta - 1)/n)$	$\alpha + \beta$ de Iwao	Plan muestreo
Modelo Green	$A = \ln(D/a) \times 1/(b-2)$	a, b	Plan muestreo

Para determinar el grado de relación entre especies se utilizó el índice de Afinidad Unidireccional (AU) (Moreno, 1978; 1981; Jesus Lidon, 1980), que se expresó de la siguiente forma:

$$AU = a/b$$

Donde a – es el número de muestras en las que aparecen juntas las especies 1 y 2;

b - número total de muestras en las que aparece la especie 1

Con los índices calculados, que varían de 0 a 1, se elaboró una matriz que debe leerse por filas, ya que la especie 1, figuró en las filas, mientras que la especie 2 aparece en las columnas. Este índice aporta información sobre las relaciones entre las especies y es útil para la discriminación de áreas con asociaciones características, dentro de la zona estudiada. Por ejemplo, puede suceder que la especie 1, aparezca en 10 muestras, en las que se presenta junto con la especie 2, pero esta última se encuentra además en otras 40 muestras.

De otro lado no se utilizó el índice de asociación de Sorensen ($A = 2ab / a+b$) porque sólo refleja la tendencia de las especies a presentarse simultáneamente y sólo tiene en cuenta el número de muestras en las que se presentan ambas, pero no refleja la existencia de preferencia de determinadas especies a presentarse con otras, independientemente del número de veces en que aparezcan estas. (Moreno, 1978; 1980; Moreno, 2000¹).

Para conocer la influencia de la heterogeneidad sobre la diversidad, se evaluó el grado de recambio de las especies en los dos usos de la tierra (diversidad B) para lo cual se dividió el número total de especies encontradas en los dos sitios entre el promedio de especies por monolito.

¹ Moreno 2000 comunicación personal

El grado de similitud o solapamiento de las especies se midió con el índice de Pianka, el cual calcula la proporción de recursos empleados por cada una de las especies en cuatro escalas espacial, horizontal, temporal y trófico. Estas escalas permiten medir la suma total de las adaptaciones de un organismo en un ambiente determinado (Pianka, 1982; 1994).

Este índice toma valores entre 0 y 1 y se representó de la siguiente manera:

$$O_{jk} = \frac{\sum P_{ij} P_{ik}}{\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2}$$

Donde P_{ij} y P_{ik} representan la proporción del i th recurso usado por la j th y k th (Pianka, 1974).

Donde i = mes; j = especie 1; k = especie 2.

4 RESULTADOS

4.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS COMUNIDADES DE LOMBRICES EN COLOMBIA

4.1.1 Registro histórico de los estudios de lombrices en Colombia

En 1872, en la publicación "The earthworms of the Vienna Museum" Beddard hizo uno de los primeros registros de lombrices en Colombia, al describir la especie *Geoscolex maximus* (F.S Leuckart, 1836), en la ribera del río Patía (Nariño), que posteriormente se reclasificó como *Glossoscolex (G.) giganteus giganteus* (Leuckart, 1836). Estudios posteriores (Michaelsen, 1918; Righi y De Araujo, 1979) consideraron como dudoso el hallazgo pues no coincidía con la distribución del género y lo atribuyeron a error en la lectura de la etiqueta original. En 1893, Ude describe *Anteus distinctus*. Como parte de la ola de naturalistas europeos interesados en la fauna Suramericana, el Profesor Otto Burger colecta lombrices en algunos estados de Colombia entre 1896–1897, que describirá Michaelsen (1900a, 1900b, 1913, 1918) en el museo de Berlín.

El mismo autor en 1913, presentó un listado de las especies de las familias y subfamilias *Naididae*, *Enchytraeidae*, *Megascolecidae*, *Lumbricidae*, *Ocnerodrilinae*, *Trigastrinae*, *Glossoscolecinae* (*Andiodrilus*, *Glossoscolex*, *Hesperoscolex*, *Periscolex*, *Pontoscolex*,

Rhinodrilus (*Aptodrilus*), *Rhinodrilus* (*Rhinodrilus*), *R.* (*Thamnodrilus*)) y *Criodrilinae*, encontradas en Bogotá y algunas localidades de los departamentos de Antioquía y Tolima. En 1918 Michaelsen describió la especie *Glossodrilus schütti* hallada en Palmira, Departamento del Valle (Righi y De Araujo, 1979).

Las investigaciones sobre oligoquetos declinaron y solo 48 años después, transcurriendo los 60 M. Latham (1966) y Ayala et al (1972) recolectan lombrices gigantes en el Páramo de Moscopan y en el Parque Nacional Puracé, Departamento del Cauca respectivamente. Prince y Fajardo (1975) dan a conocer por primera vez en Colombia las especies cosmopolitas: *Allolobophora caliginosa* (Savigny, 1826), *Lumbricus rubellus*, Hoffmeister, 1843, *Diplocardia singularis* Ude, 1843 y *Octolasion lacteum*, Orley, 1885.

A partir de los 80 se intensifican los estudios sobre la oligoquetofauna Colombiana. Righi (1984) describe dos géneros: *Tairona* y *Bribri*, y cuatro especies nuevas: *T. adrianae*, *B. pipi*, *Andiodrilus argous* y *Glossodrilus pan*; además de la redescrición de *Martiodrilus euzonus*, Cognetti, 1904 y la nueva ocurrencia de *Pontoscolex* (*P.*) *corethrurus*, Muller, encontradas en el Departamento del Magdalena: Sierra Nevada de Santa Marta, Transecto Buritica - La Cumbre. Galvis (1984) da a conocer la anatomía externa e interna de *Andiodrilus bogotaensis*, Michaelsen, 1900. En 1987, Iafrancesco y Portella detallan *Martiodrilus crassus*, Rosa, 1895, colectada en el Departamento del Huila: Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos.

Zicsi (1988) determina tres especies del género *Andiodrilus*: *A. sturmi*, *A. vaucheri* y *A. paramensis* y menciona la ocurrencia de *A. affinis* (Michaelsen, 1900), en algunos páramos del

Departamento de Cundinamarca. El mismo año, redescubre *Martiodrilus savanicola* (Michaelsen, 1900) colectada en La Rusia y el Páramo de Chingaza, Departamento de Cundinamarca.

En 1989 Zicsi describe la especie *Periscolex longituberculatus* hallada en Alto Belén Departamento de Cundinamarca. Este mismo año Righi y García, redescubren *Andiodrilus affinis*, Michaelsen, 1900, y describen *Glossodrilus pixao* colectadas en las proximidades de Bogotá.

James (1990) describe la especie *Martiodrilus olivaceous*, colectada en el departamento del Cauca por M. Latham (1965-1966).

Domínguez et al (1990) determinaron los géneros de cinco familias del piso térmico cálido del Departamento del Tolima: *Glossoscolecidae* (*Andiodrilus*, *Glossoscolex* y *Pontoscolex*); *Megascolecidae*: (*Perionyx* y *Pheretima*), *Acanthodrilidae* (*Diplocardia* y *Microscolex*), *Eudrilidae* (*Eudrilus*) y; *Lumbricidae* (*Eisenia*).

Zicsi (1993) relaciona como sinónimos los géneros *Andiodrilus* con *Bribri* Righi, 1984, y las especies *Andiodrilus paramensis* Zicsi, 1988 con *A. pachoensis* Michaelsen, 1900, además de describir dos nuevas especies *A. michaelseni* y *A. graffi*.

Feijoo (1993) en un inventario de las comunidades de lombrices de una región del departamento del Valle encontró siete familias, 18 géneros y 30 especies. Entre las cuales se registraron *Glossodrilus griseus*, *G. lacteus*, *Martiodrilus palmirus*, *M. agricola*, *M.*

heterostichon, *Onoreodrilus benavidesi*, *O. loksai* y *T. uncinatus* (endémicas), y *Eiseniella tetraedra*, *Amyntas gracilis*, *Polypheretima elongata*, *Eudrilus eugeniae*, *Dichogaster annae* y *Microcolex phosphoreus* (cosmopolitas).

Un año más tarde el mismo autor describió la distribución espacial y las categorías ecológicas de 30 especies colectadas en las cuencas de los ríos Amaime y Nima del departamento del Valle (Feijoo, 1994).

Zicsi y Feijoo (1994) describen dos nuevas especies del género *Glossodrilus* (*G. lacteus* y *G. griseus*) y una especie de *Martiodrilus* (*M. palmirus*), además de registrar nuevos hallazgos en Colombia de las especies *Onoreodrilus loksai*, *O. benavidesi*, *M. agricola*, *M. euzonus* y *M. savanicola*.

En un estudio sobre la dinámica de poblaciones de lombrices de suelos de sabana de Carimagua, Llanos Orientales Jiménez et al (1995) registran la presencia de 14 especies de lombrices de las familias Glossoscolecidae (*Andiodrilus*, *Andiorrhinus*, *Martiodrilus*, *Pontoscolex*, *Glossodrilus*) Octochatidae (*Dichogaster*) y Ocnerodrilidae; de ellas solamente la especie exótica *P. corethrurus* ha sido determinada hasta el momento.

Righi (1995) al estudiar las lombrices del Instituto de Ciencias Naturales -- Museo de Historia Natural (Universidad Nacional de Colombia) colectadas por T. Van der Hammen y colaboradores en dos transectos de las cordilleras Occidental y Central de los Andes, en el propone una familia nueva (Tumakidae) con un género nuevo (*Tumak*) y una especie nueva

(*T. hammeki*) describiendo 31 nuevas especies y elabora 4 redescriptiones; en esta publicación además, reevaluó la familia Glossoscolecidae y los géneros *Quimbaya* (6 especies), *Martiodrilus* (51 especies), *Andiorhinus* (cuatro subgéneros y 25 especies), *Andiodrilus* (26 especies), *Bribri* (dos especies), *Onychochaeta* (cuatro especies) y *Glossodrilus* (65 especies) y reconoció tres géneros nuevos *Maipure* (4 especies), *Zongodrilus* (una especie) y *Tupinaki* (dos especies).

La oligoquetofauna colombiana consta en la actualidad de 104 especies situadas en nueve familias y 30 géneros, de las cuales 81 son nativas y 23 exóticas. Se consideran las especies pendientes de descripción (20 especies de Jiménez y Moreno; 53 de Zicsi y Feijoo; algunas del presente estudio) el número podría ascender a 186.

4.1.2 Biodiversidad Tropical colombiana

La mayor parte de colectas se realizaron a lo largo de tres cordilleras (Occidental, Central y Oriental) desde el departamento de Nariño en el sur de Colombia hasta los departamentos de Antioquía y Santander en el nor occidente y oriente respectivamente (Anexos 3, 8).

El 93.2 % de los registros de especies se hizo en la región andina, de los cuales 23 están en la zona de vida ecuatorial, 42 en la zona de vida Subandina y 19 en la zona de vida Paramuna. Los restantes registros se situaron en Orinoquía (cuatro especies, 3.9%) y en la zona de vida ecuatorial en la Costa Pacífica (dos, 2%). La mayor parte de la oligoquetofauna se encontró en las zonas de vida ecuatorial y subandina (32 y 42 registros respectivamente), predominando

en la zona de vida ecuatorial las especies cosmopolitas y las endémicas en la Subandina (Anexos 3, 8).

La mayoría de las especies que ocupan la región Andina son oligoquetos endémicos de la familia Glossoscolecidae (13 géneros); esta familia se distribuye desde México y el Caribe (Fragoso et al, 1995) hasta las riberas del río Sama en la frontera entre Peru y Chile, y las riberas del Valle del río Juramento Salado en el norte de Argentina y Paraguay (Righi, 1972, 1984). El término endemismo denota taxa con distribuciones geográficas restringidas; Terborgh y Winter (1982) lo definen como distribución de especies que no sobrepasan los 50.000 km², mientras que las de amplia distribución Michaelsen (1900) las denominó “peregrinas” Siguiendo esos criterios, el patrón descrito (Feijoo, 1993 y 1994; Feijoo y Knapp, 1995; Feijoo y Quintero, 1998a) para los glossoscolecidos *Martiodrilus euzonus*, *M. agricola*, *M. heterostichon*, *M. bicolor* y *Maipure ecuadoriensis* se ajustaría a la categoría de peregrinas por que se distribuyen a lo largo de la Cordillera de los Andes en Colombia y Ecuador. Sin embargo, se encuentran en ambientes restringidos con vegetación natural, cultivos multiestrata con sombrío y cobertura superficial o en páramos; por lo tanto parecen ser especies que han evolucionado en una vasta región de micro – centros con características similares. *P. corethrurus* y *Onychochaeta (e) elegans* moran ambientes antropócoros. La primera es una especie pantropical que habita en suelos cultivados y pastizales por debajo de los 1800 m.s.n.m., mientras que la segunda ocupa suelos altamente alterados producto de la extracción minera y pastizales en Santafé de Antioquía y ambientes con relictos de selva en el Tolima, por debajo de los 1300 m.s.n.m. (Righi, 1995; Feijoo, sin publicar).

T. hammeni es endémica y sólo se colectó en ambientes de selva natural, mientras que *D. medellina* es la única endémica de la familia Octochaetidae. Las restantes especies son euritópicas que llegaron a Colombia transportadas por el hombre desde los centros de origen y diversidad en Norte América, Europa, Asia o Africa (Sims, 1980). Por ejemplo, los Lumbricidae (nueve géneros) se han adaptado, en su mayoría, a suelos cultivados y pastizales por encima de los 2000 m.s.n.m.; los Megascolecidae (dos géneros) se hallan por debajo de los 2200, excepto *Amyntas corticis* que se encuentra en diversos pisos térmicos. En la familia Octochaetidae (un género) se destaca *D. annae* que tiene amplia distribución desde 100 m hasta 2500; así mismo, las especies de Ocnerodrilidae y Acanthodrilidae (dos ejemplares respectivamente) moran en el fango o en suelos húmedos y se caracterizan por su pequeño tamaño 20 –40 mm. Una especie de la familia Eudrilidae, *Eudrilus eugeniae*, vive en las riberas de los ríos que surcan el valle geográfico del río Cauca. La familia Almidae con una especie (*Drilocrius breymanni*) es el primer registro para Colombia y mora en el fango o en suelos muy húmedos (Anexos 3, 8).

Andiodrilus fue el género con más especies colectadas (25), viven en el suelo –excepto *A. cabalensis*– en las regiones montañosas y presentan alta endemidad; *A. schütti*, *A. bogotaensis*, *A. pachensis* y *A. argous* son las especies con mayor distribución geográfica, la primera coloniza suelos cultivados y pastizales en algunas localidades de las Cordilleras Central y Oriental, las otras se han adaptado a un amplio rango de variaciones altitudinales (Anexos 3, 8). La única especie registrada para los Llanos Orientales fue *A. ofeliae*, la cual habita en bosques de galería, sabanas nativas y pastizales mejorados (Jiménez et al, 1995).

El segundo género fue *Glossodrilus* (16 especies), cuenta con el mayor número de especies de la familia (68), son de tamaño pequeño (25 – 45 mm y 1 –2 mm de diámetro) y despigmentadas; presentan gran endemidad en pequeñas áreas y no son de amplia distribución altitudinal, la mayoría de especies están distribuidas en los Andes, moran donde la vegetación presenta diversos estratos e incluso en pastizales (*G. griseus* y *G. lacteus*); *G. sikuani* es la única especie en suelos de sabana, bosques de galería y pastizales de los Llanos Orientales (Jiménez et al, 1995).

Martiodrilus, con 15 especies, ocupa la mayor diversidad de ambientes y gradientes altitudinales, desde selvas y pastizales en el páramo (*M. agricola* y *M. euzonus*) hasta sistemas de cultivo tales como *M. carimaguensis* y *M. heterostichon*; además, aun no se han determinado algunas especies de gran tamaño colectadas en los departamentos del Valle, Caldas y al sur en el Caqueta, Putumayo y Nariño a orillas de ríos situadas entre 50 y 300 m.s.n.m.. Cuatro especies (*M. columbianus*, *M. olivaceous* *M. crassus* y *M. psikakao*) son de gran tamaño y se han encontrado por encima de los 1600 m en selvas de la Cordillera Central.

Quimbaya (seis especies), *Periscolex* (cuatro), *Aptodrilus* (dos), *Onoreodrilus* (dos), *Bribri* (dos), y *Tairona* (una) son grupos con alto endemismo, habitan las selvas de la Cordillera de los Andes y con algunas excepciones (*A. fuhrmanni* y *A. uncinatus*) se hallan en pastizales de *P. clandestinum* con abundante biomasa; las especies de *Periscolex*, difíciles de encontrar por su pequeño tamaño, son habitantes de la hojarasca y de los troncos en descomposición.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS DIEZ TIPOS DE USO DE LA TIERRA MUESTREADOS EN LA FASE DOS

Los suelos variaron de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar y los contenidos de C y N. Por ejemplo, los Andisoles de la Selva Secundaria, Selva > 40 años, Barbecho, Plantación de Pino y el Pastizal se caracterizaron por el elevado contenido de carbono (relacionado con la cantidad de biomasa que se recicla periódicamente) y estrecha relación C : N; la reacción es fuertemente ácida pH entre 4 y 5.5, deficientes en bases intercambiables debido al predominio en el complejo de cambio del aluminio e iones hidronio y al lavado ocasionado por altas precipitaciones. Con el elevado contenido de Al intercambiable corresponden contenidos medianamente bajos de Ca y Mg y altos para K (Cuadro 5). Los Inceptisoles de la Selva de 40 años, Café Tradicional, Yuca asociada, *M. minutiflora* y *B. decumbens* presentaron bajos contenidos de N total, pero alta relación C : N posiblemente debido al lavado y arrastre del N durante los procesos erosivos de estos sitios. Son suelos de reacción ácida con bajos contenidos de P disponible, bases intercambiables y alto aluminio intercambiable; la textura es liviana con predominio de arenas y limos en la mayoría de los casos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características químicas del suelo en diez de uso de tierra del Cabuyal

Uso de Tierra	Altura	Orden	C	N Total	C/N	P	pH	Al	Ca	Mg	K	Textura
	m.s.n.m.		%			Ppm			Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹			Arena-Limo-Arcilla
Selva Secundaria	2000	Andisol	10.8	0.79	13.68	10.48	5.22	1.69	2.91	1.00	0.37	50.8 - 30.5 - 18.6
Selva > 40 años	2000	Andisol	9.1	0.68	13.37	8.0	5.30	1.36	1.95	0.63	0.25	45.5 - 35.8 - 18.7
Barbecho	1950	Andisol	7.0	0.49	14.35	2.86	5.36	1.32	0.55	0.23	0.18	35.4 - 27.0 - 37.63
Plantación Pino	2000	Andisol	10.3	0.68	14.99	1.84	5.32	0.45	0.54	0.19	0.23	19.9 - 32.24 - 47.8
<i>P. clandestinum</i>	2100	Andisol	11.1	0.72	15.38	2.36	5.76	0.96	0.44	0.14	0.20	19.9 - 32.2 - 47.79
Selva 40 años	1450	Inceptisol	3.8	0.23	16.58	3.80	4.82	1.56	1.44	0.61	0.26	53.7 - 27.6 - 18.7
Café Tradicional	1450	Inceptisol	6.1	0.46	13.33	1.82	5.42	0.56	2.16	0.70	0.60	24.6 - 28.4 - 47.0
Yuca Asociada	1450	Inceptisol	4.2	0.26	16.48	6.42	4.92	1.58	1.66	0.59	0.28	19.5 - 27.4 - 53.1
<i>M. minutiflora</i>	1400	Inceptisol	6.1	0.38	16.07	2.98	5.02	2.05	0.70	0.37	0.15	14.7 - 29.9 - 55.4
<i>B. decumbens</i>	1400	Inceptisol	4.1	0.30	13.49	1.18	5.46	0.50	1.52	0.32	0.14	18.1 - 28.7 - 53.1
Valores promedios para cinco muestreos por sitio												

En el análisis de componentes principales dos factores explicaron el 71.1% de la variabilidad de las muestras de suelo y los sitios. El primer componente (45.9%) diferenció las muestras de suelo con sinergismo entre pH, bases intercambiables, K y P, notándose que en la medida en que el pH de las muestras descende, son menores las bases y el K, lo cual es una característica marcada en los Inceptisoles, mientras que el segundo componente explicó el 25.2% y lo caracterizaron altos contenidos de N, C alto K y bajo pH (Figuras 11).

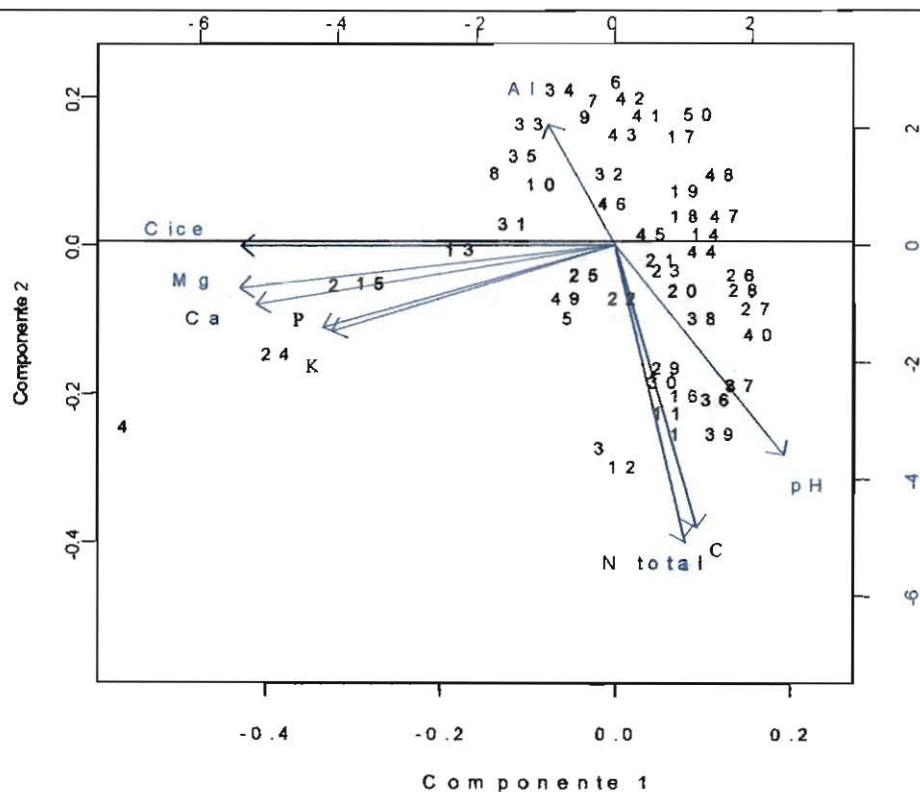
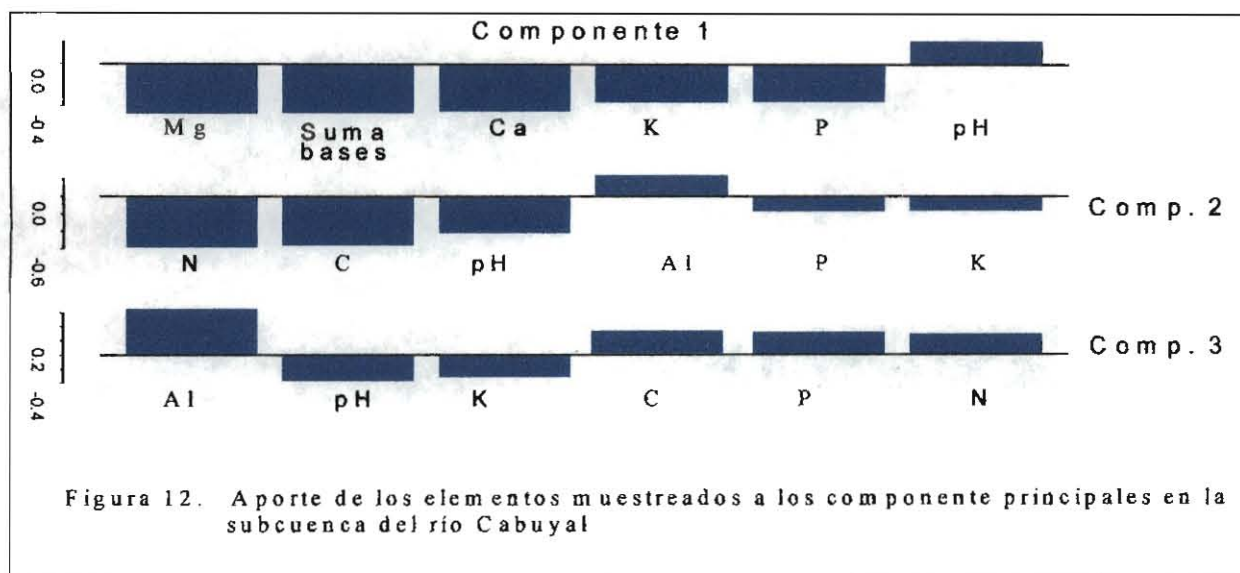


Figura 11. Posición relativa de las características de los suelos de 10 tipos de uso de la tierra, extraídos para dos componentes con el ACP

En el análisis de conglomerados, se formaron tres grupos diferenciados por el contenido de

C: el primero caracterizado por un contenido promedio de $12.7\% \pm 2$, el segundo de 4.4 ± 1 y el tercero de 7.9 ± 1.5 (Figura 12). Los niveles más bajos coincidieron con muestras provenientes de suelos con alta degradación, mientras que los más altos correspondieron con sitios donde se conservó la cobertura superficial y el dosel.



Este hallazgo permitió destacar al carbono como característica clave y sensible para monitorear cambios en el estado de la materia orgánica e interpretar la degradación o restauración del suelo en los usos del terreno.

4.2.1 Características físicas de los sitios muestreados en la fase tres

4.2.1.1 Densidad Aparente y Real

La densidad aparente en la Selva varió entre 1 (capa 0 – 10 cm) y 1.2 g cm^{-3} (capa 50 –

60), arrojando diferencias significativas entre muestras y profundidades ($P < 0.0001$, $P < 0.05$ respectivamente). En el Pastizal, fluctuó desde 0.38 ($0 - 10$) hasta 0.48 g cm^{-3} ($50 - 60 \text{ cm}$); con diferencias significativas entre profundidades ($P < 0.0001$).

La densidad real en la Selva osciló desde 2.42 g cm^{-3} ($0 - 10 \text{ cm}$) hasta 2.48 (estrato $50 - 60$), presentándose como una característica poco variable entre las profundidades, pero que presenta diferencias significativas entre las muestras ($P < 0.0001$). En el Pastizal, los valores fueron más bajos ($1.9 - 2.3$), pero no se presentaron diferencias entre las muestras y las profundidades (Figura 13).

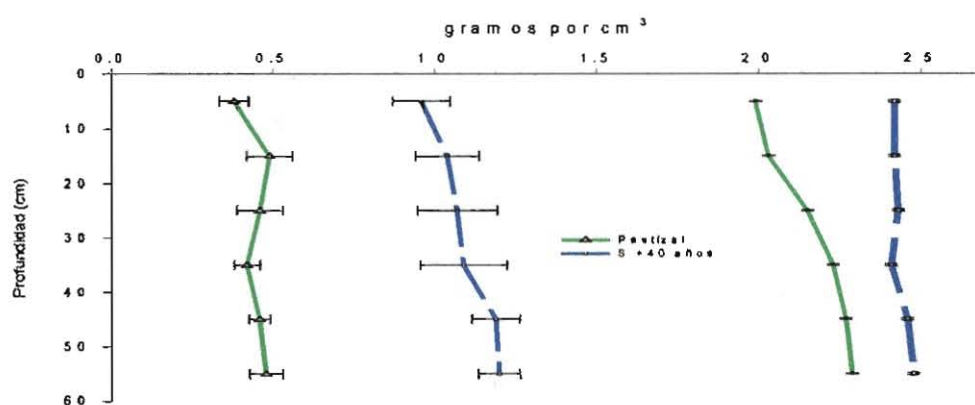
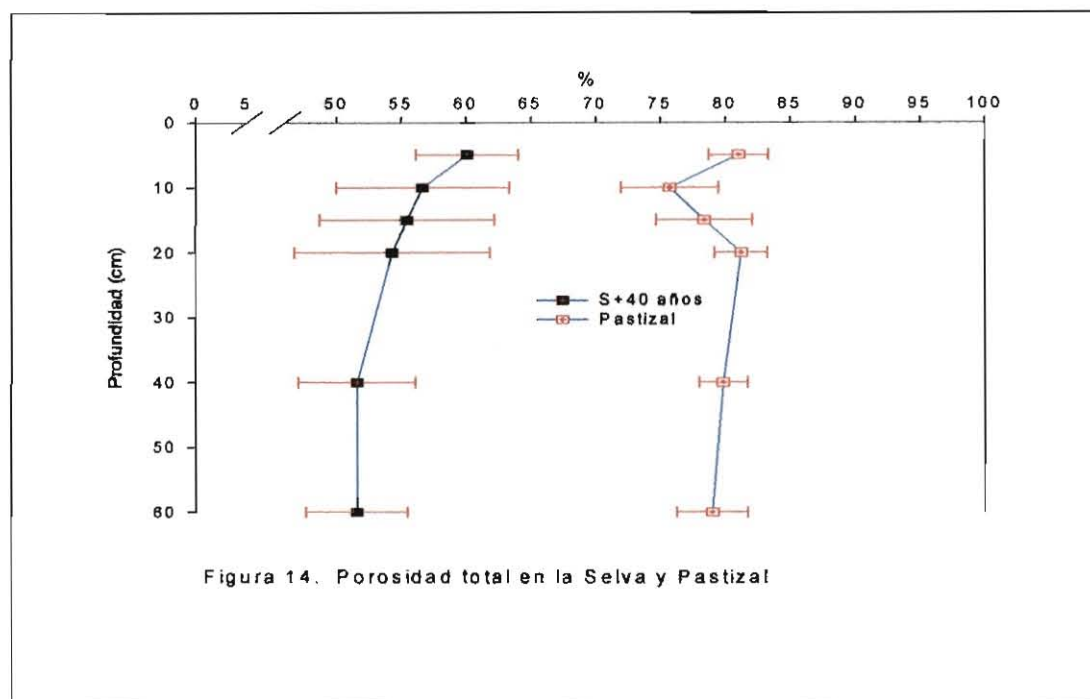


Figura 13. Fluctuación de la densidad aparente y real relacionado con la profundidad en la Selva y el Pastizal

4.2.1.2 Porosidad Total

La porosidad total en la Selva fluctuó 60.1 (0 – 10 cm) y 51.6 % (capa 50-60), lo que mostró un ambiente con mejores condiciones de aireación en la superficie y con tendencia a la compactación y disminución del espacio poroso con el incremento de la profundidad; por ello las diferencias significativas entre muestras ($P < 0.0001$) y profundidades ($P < 0.0001$).

En el Pastizal, los valores fueron más altos (81 - 79%) presentándose una leve reducción en las capas 10-20 (75.7) y luego fluctuaron de manera casi constante, hecho que reflejó el aumento de la densidad aparente, la cual cambió de 0.38 g cm^3 (0 – 10) a 0.49 (10 – 20 cm), probablemente debido a la compactación ocasionada por los bovinos, a pesar de la baja carga animal por hectárea (0.7) con diferencias entre muestras y profundidades ($P < 0.0003$ y $P < 0.0001$ respectivamente) (Figura 14).



4.2.1.3 Estabilidad de agregados

En la Selva (Figura 15), la proporción de agregados mayores a 2 mm fue superior a los restantes en todos los estratos del suelo con diferencias altamente significativas entre profundidades ($P < 0.0001$) y la disminución de agregados > 2 mm con la profundidad (73.4 en 0 – 10 a 16.9% en 50 – 60 cm).

La comparación de los agregados de diferente clase en el Pastizal (Figura 16) entre las muestras y profundidades arrojó el predominio de los agregados > 2 mm sin que se presentaran diferencias entre ellos pero si con relación a los otros tamaños de agregados ($P < 0.0001$), que no disminuyen drásticamente de tamaño (57.9 en 0 – 10; 48.4% en 50 – 60 cm) (Figura 15).

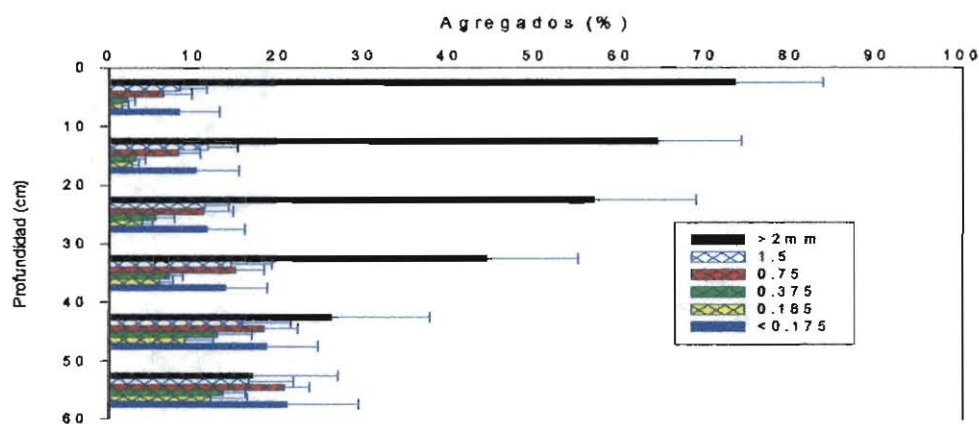


Figura 15. Distribución de agregados de diferente clase (0 -60 cm) en la Selva +40 años

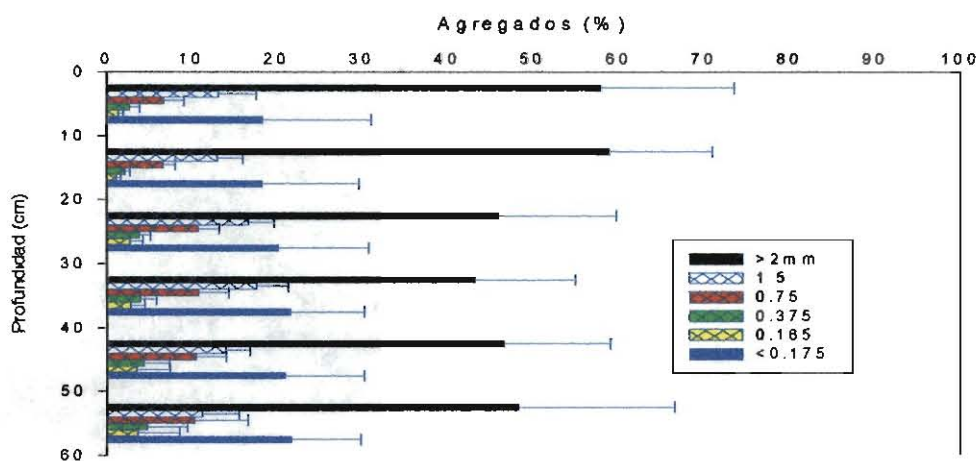


Figura 16. Distribución de agregados de diferente clase (0 -60 cm) en el Pastizal

Al comparar los dos sitios, la Selva presentó los mayores porcentajes de agregados > 2 mm hasta 20 cm de profundidad y, a partir de esta capa, es el Pastizal el que tiene mayor porcentaje de agregados con este tamaño, lo que indica mayor agregación en la primera capa del suelo de la Selva favorecido por las raíces de las plantas y mayor actividad biológica en los estratos más profundos del suelo.

4.2.1.4 Retención de humedad

En la Selva > 40 años el suelo tuvo mayor capacidad para retener agua en el estrato 0 – 10 cm, donde fluctúa desde 69,7% (pF 1.4) hasta 57.7 (pF 4.2). En los estratos siguientes, la

curva fluctuó de manera similar pero con el descenso de la humedad a medida que se incrementa la succión, tal es el caso del estrato 50 – 60, en el cual la humedad descendió de 49.3 a 40.83% (Figura 17).

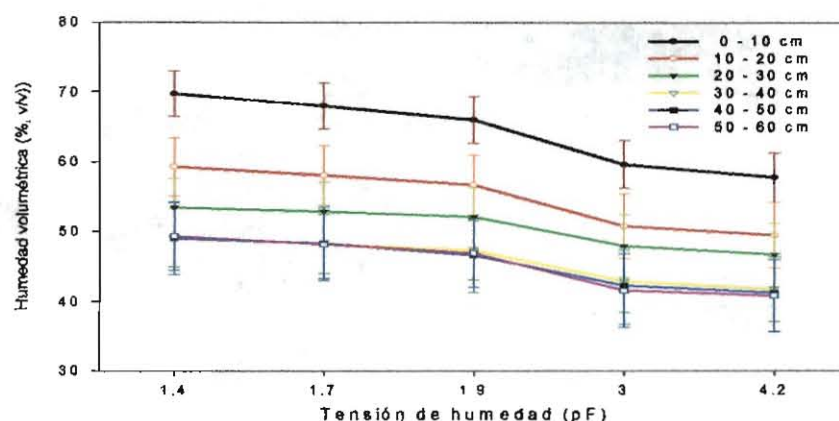


Figura 17. Retención de humedad a diferentes profundidades en la Selva +40 años

En el Pastizal, la retención de humedad fluctuó, sin diferencias significativas, entre 61.7% y 61.8 para la capa 0 – 10 cm y con tensiones de 1.4 a 4.2; a distintas profundidades varió entre 61.7 y 47.5% con diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) (Figura).

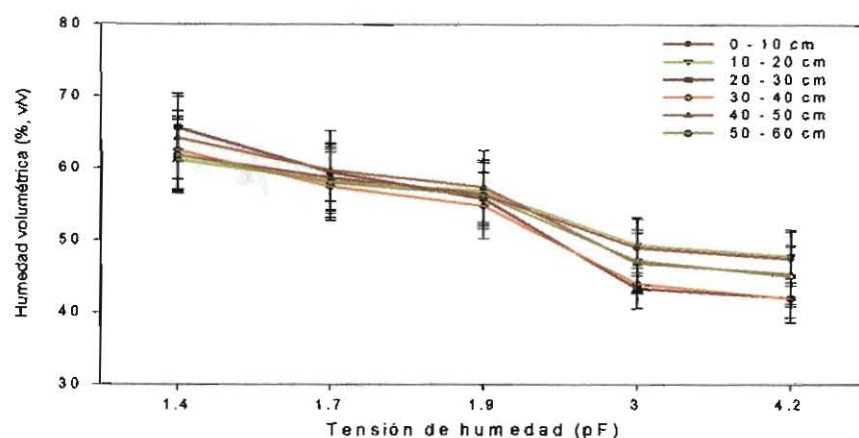


Figura 18. Retención de humedad a diferentes profundidades en el Pastizal

4.2.1.5 Humedad de Campo

En la Selva Secundaria, fluctuó la humedad con relación a la profundidad de los muestreos y al cambio en la topografía del sitio. La humedad presentó diferencias significativas ($P < 0.0001$) con la profundidad, siendo más alta en los primeros 10 cm del suelo (56.2% v/v) y disminuyó hasta 39.4, en el estrato 50 – 60 cm (Figura 19). En el Pastizal, presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) entre los lotes muestreados, pero no para estratos, fluctuando entre 55.5% para 0 – 10 y 55.2 para 50 – 60 cm (Figura 19). Esto indica que el perfil de humedecimiento varió a distancias cercanas de muestreo, pero no dentro del lote para muestras por monolito y repeticiones.

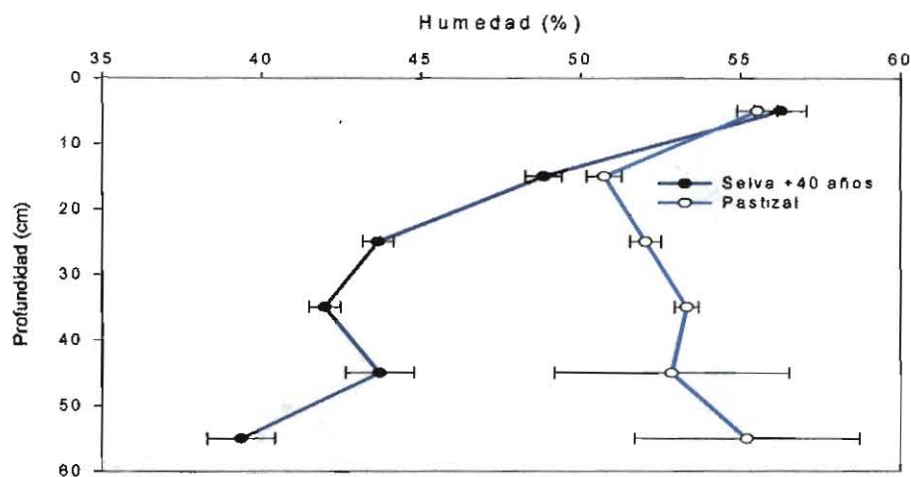


Figura 19. Fluctuación de la humedad del suelo en la Selva y el Pastizal

4.2.1.6 Espacio aéreo

El espacio aéreo en la Selva > 40 años fluctuó entre 22.1 (0 – 10 cm) y 10.6% (50 – 60), además aumentó en el estrato 10 – 20 (24.8) y drástica disminución en 20 - 30 (10.8). En el Pastizal, se encontró tendencia similar a la Selva > 40 años, pero valores más altos en 0 – 10 cm (25.3 %) que en 50 – 60 (22.3). El mayor espacio aéreo se encontró en las capas superficiales (10 cm), aumentando hasta 20 y luego decayó sin fluctuaciones grandes (Figura 20).

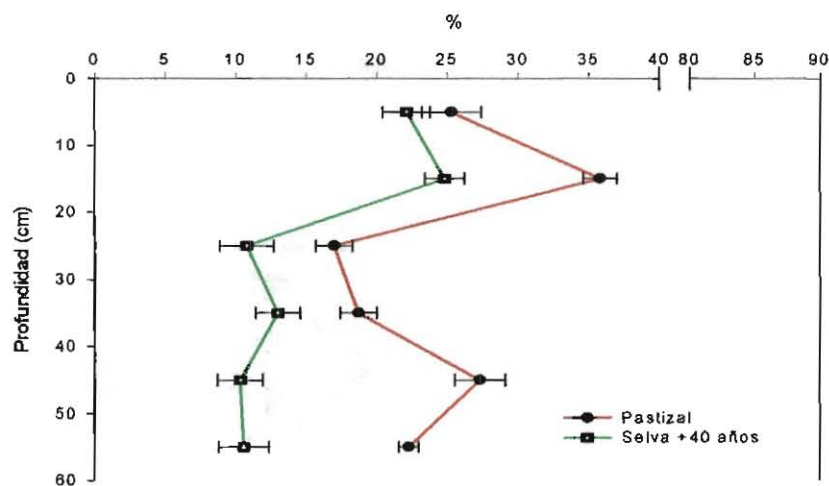


Figura 20. Fluctuación del espacio aéreo para los dos usos de la tierra

4.2.1.7 Resistencia a la Penetrabilidad

En la Selva Secundaria la penetrabilidad aumentó con la profundidad, exhibiendo un suelo con menor resistencia en la capa 0 – 20 cm y con diferencias significativas ($P < 0.00001$), luego apareció una capa endurecida que se prolonga hasta 60 cm y que no arrojó diferencias significativas ($P < 0.0001$), mostrándose con tendencia constante (Figura 21). En el Pastizal, hubo diferencias entre profundidades hasta 15 cm, posición hasta la cual penetran las raíces de la gramínea, posteriormente se mantienen constantes los valores sin presentar variaciones significativas.

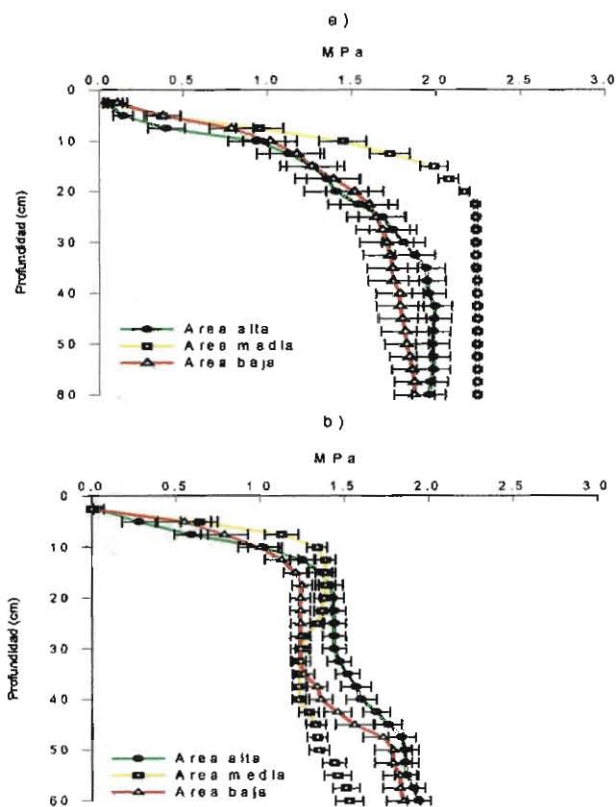


Figura 21 Comparación de la resistencia a la penetrabilidad en las áreas de los dos sitios:
a) Selva de >40 años, b) Pastizal

4.2.1.8 Textura

La textura diferenció los suelos como franco-arcilloso a arcilloso, para Selva, con un contenido de arcillas que oscila entre 37.6 – 55% (0 – 60 cm), mientras en el Pastizal va de franco a franco-arenoso, con valores de arena de 50.8 – 53.7%.

4.2.2 Características químicas de los sitios muestreados en la fase tres

En la Selva, los nutrimentos disminuyeron con la profundidad y sólo el P en el estrato 20 – 30 cm aumentó con alta variabilidad en las muestras para luego descender con la profundidad y el Al que aumenta correlacionado con los descensos de C, N, Ca, Mg y K (Cuadro 6).

Los suelos del orden Andosol del Pastizal tienen elevados niveles de C y N que también disminuyen con la profundidad pero a su vez esto pareció estar asociado con niveles más bajos para bases intercambiables y P, los cuales descienden con la profundidad (Cuadro 7).

Cuadro 6. Características químicas por profundidad del suelo en la Selva > 40 años

Profundidad	C	N	C/N	P	Al	Ca	Mg	K
	%	%		ppm		cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹		
0 – 10	4.24	0.40	10.48	10.87	1.01	5.18	3.59	0.39
	(1.08)	(0.07)	(1.73)	(11.40)	(1.28)	(1.73)	(1.26)	(0.21)
20 – 30	3.19	0.33	9.66	12.74	1.08	3.84	2.84	0.28
	(0.87)	(0.07)	(2.10)	(23.07)	(1.19)	(1.33)	(1.18)	(0.15)
20 – 30	2.33	0.27	8.83	5.98	1.37	2.97	2.44	0.20
	(0.78)	(0.07)	(2.43)	(6.99)	(1.44)	(1.10)	(1.10)	(0.12)
30 – 40	1.66	0.19	8.81	2.64	1.84	2.23	1.92	0.10
	(0.69)	(0.06)	(2.42)	(3.93)	(1.66)	(0.85)	(0.93)	(0.04)
40 – 50	1.12	0.14	7.71	4.16	2.10	2.13	1.88	0.08
	(0.58)	(0.05)	(2.21)	(5.72)	(1.58)	(0.97)	(0.95)	(0.03)
50 – 60	1.07	0.14	7.80	3.14	2.00	1.87	1.78	0.09
	(0.50)	(0.04)	(2.50)	(5.03)	(1.29)	(0.86)	(0.91)	(0.04)

valores promedios

Entre paréntesis aparece la desviación estándar

Cuadro 7. Características químicas por profundidad en el suelo del Pastizal

Profundidad	C	N	C/N	P	Al	Ca	Mg	K
	%	%		ppm			cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	
0 – 10	17.19 (4.69)	1.32 (0.35)	13.04 (1.49)	2.94 (2.18)	1.31 (0.76)	2.93 (2.97)	0.93 (0.64)	0.40 (0.19)
10 – 20	12.84 (4.00)	1.01 (0.29)	12.52 (1.16)	3.68 (8.82)	1.67 (1.33)	1.73 (1.54)	0.43 (0.26)	0.21 (0.09)
20 – 30	10.10 (3.07)	0.83 (0.23)	12.11 (1.53)	2.08 (5.59)	1.36 (1.11)	1.23 (1.12)	0.31 (0.19)	0.18 (0.13)
30 – 40	6.96 (2.53)	0.55 (0.19)	12.48 (1.09)	1.47 (4.27)	0.87 (1.21)	0.49 (0.45)	0.16 (0.08)	0.08 (0.02)
40 – 50	6.03 (2.13)	0.46 (0.15)	12.87 (1.66)	0.24 (0.39)	0.66 (0.90)	0.41 (0.35)	0.15 (0.10)	0.07 (0.03)
50 – 60	4.59 (2.13)	0.35 (0.15)	12.94 (1.5)	1.65 (5.18)	0.56 (0.92)	0.29 (0.20)	0.14 (0.10)	0.06 (0.03)

Entre paréntesis aparece la desviación estándar

4.3 RELACIÓN ENTRE LA MACROFAUNA Y EL USO DE LA TIERRA EN UN ÁREA DE LOS ANDES COLOMBIANOS

4.3.1 Comunidades de lombrices y macrofauna en áreas de laderas

Los macroinvertebrados se separaron en 132 grupos hormigas, lombrices, termitas, coleópteros, miriápodos, arácnidos; así mismo, se hizo inventario de la vegetación en cada sitio (Anexos 1, 3).

A la unidad taxonómica se le consideró como aquel grupo de macroinvertebrados determinado hasta cierto nivel (familia, género o especie); por otro lado, en la unidad “Otros” se reunió a aquellos grupos con menos del 1% de la densidad y biomasa, tales como Isopoda, Mollusca, Crustacea, Blattida, Hirudinida, Pseudoscorpionida y Mermithidae (Figura 22). Los valores más altos de densidad de macrofauna se presentaron en la temporada de lluvias, meses con mediana por encima de 80 mm, excepto para termitas y dípteros que aumentaron durante la sequía (Figura 23).

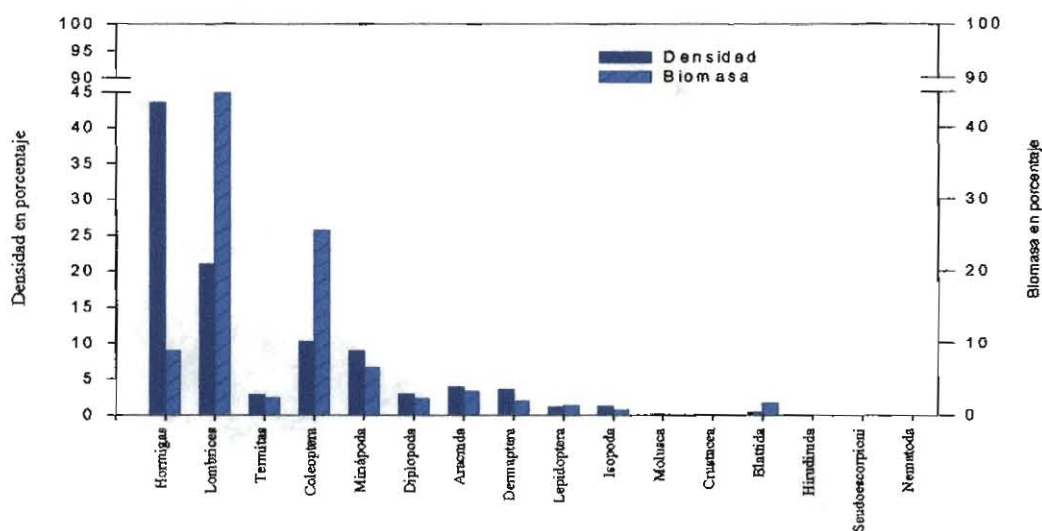


Figura 22. Porcentaje de la densidad y biomasa de las unidades taxonómicas para los diez sitios estudiados

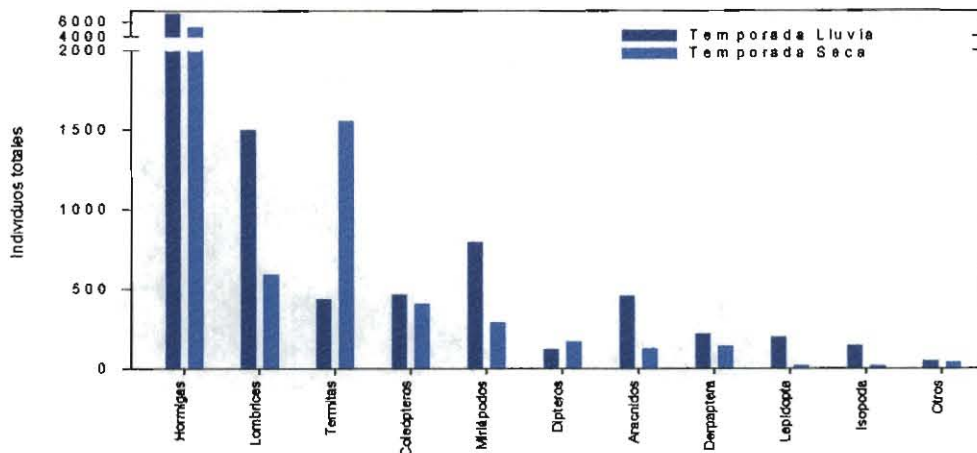


Figura 23. Relación entre la variación temporal y los individuos totales de la macrofauna en la subcuenca del río Cabuyal

En el Análisis de Componentes Principales (ACP), tres factores explicaron el 71.8% de la varianza total de la macrofauna. El factor uno (43.6%) diferenció alta diversidad (Termitas, Miriapoda, Arachnida, Díptera, Lepidoptera, Isopoda, Dermaptera, Pseudoscorpionida, Mollusca, Hirudinida y lombrices), y bajas densidad y biomasa de lombrices, lo que llevaría a asociarlo con el tipo de vegetación y cobertura superficial del suelo (Cuadro 8). El dos (15.4%) se caracterizó por baja diversidad y predominio de lombrices epígeas, endógeas mesohúmicas y *P. corethrurus*, además de Coleoptera, Crustacea y Blattodea; esta situación se asoció con sitios donde ocurrieron en el pasado acciones de tala y quema. El factor tres (12.8%) interpretado como erosión, presentó baja diversidad, alta densidad y biomasa, predominaron algunas especies de hormigas, la lombriz pantropical *P. corethrurus* y Mermithidae (Figura 24); este factor diferenció sitios labrados con tracción

animal o sobrepastoreo de bovinos y presencia de carcavas e indicios de degradación física, química y biológica.

El Análisis de Conglomerados (Cluster Análisis) (Figuras 24 y 25) aglutinó cuatro grupos de acuerdo con los valores de densidad de macrofauna y algunas propiedades físicas y químicas de los suelos. El primer grupo, aglutinó el Barbecho *Melinis minutiflora* y *Pennisetum clandestinum*, con alta densidad debido a la presencia de hormigas (*Ectatoma tuberculatum*, *Dolichoderus sp.*, *Hypoponera sp.*, *Solenopsis sp.*) y baja biomasa y densidad baja para termitas. Además, los suelos fueron franco arcillosos con alta infiltración, carbono (12.5%), alta relación C/N (14.9) y bajo pH (5.5).

El segundo conglomerado agrupó a la Selva de 40, Selva de >40 años, Café Tradicional, Yuca Asociada, y *Brachiaria humidicola*; la fauna se concentró en la capa 0-10 cm del suelo y estuvo representada por lombrices epígeas (*Periscolex sp* y *Maipure ecuadoriensis*), Miriapoda, Arachnida, Lepidoptera, Dermaptera y Diptera; la mayor contribución a la biomasa la hizo *P. corethrurus* especie que se adapta a ambientes tropicales de alta alteración antrópica. Los suelos presentaron alta infiltración, alto contenido de arenas (51.5%), medio de carbono (7.5%) y bajo pH (5.3). El tercer y cuarto se separaron como sitios atípicos, en la plantación de Pino hubo baja densidad de lombrices, termitas, coleópteros y miriápodos, mientras que la Selva Secundaria presentó la densidad más alta de termitas y después del grupo uno, la densidad más alta de hormigas. Otra relación interesante para estos grupos es la alta proporción de carbono y elevada relación C/N

(Cuadros 8, 9). A pesar de éstas coincidencias, la relación entre nutrientes y densidad de macrofauna no exhibió un patrón claro que enseñara tendencias en la distribución de la densidad, razón por la cual no se detectaron diferencias significativas al comparar los cuatro grupos con la relación C:N.

Cuadro 8. Correlaciones para variables y factores de la densidad de macrofauna extraídas del ACP.

Unidades Taxonómicas	Factor I (43,6%)	Factor II (15,4%)	Factor III (12,8 %)
Riqueza específica	0.9	-0.14	0.32
Termitas	0.95	0.05	0.12
Miriapoda	0.88	0.004	-0.32
Diptera	0.88	0.04	-0.14
Arachnida	0.96	0.09	0.06
Lepidoptera	0.95	0.01	0.15
Isopoda	0.9	0.34	-0.09
Mollusca	0.92	-0.14	0.08
Hirudinida	0.95	0.06	0.17
Lombrices Epígeas	-0.17	0.83	0.08
Lombrices Endógeas – (<i>P. corethrurus</i>)	-0.13	0.72	- 0.15
<i>P. corethrurus</i>	-0.18	0.72	0.52
Endógeas mesohúmicas	0.1	-0.58	-0.16
Coleóptera	0.26	-0.77	0.12
Blattidae	0.24	0.31	0.25
Hormigas	-0.08	-0.45	0.66
Mermithidae	-0.10	-0.21	0.71

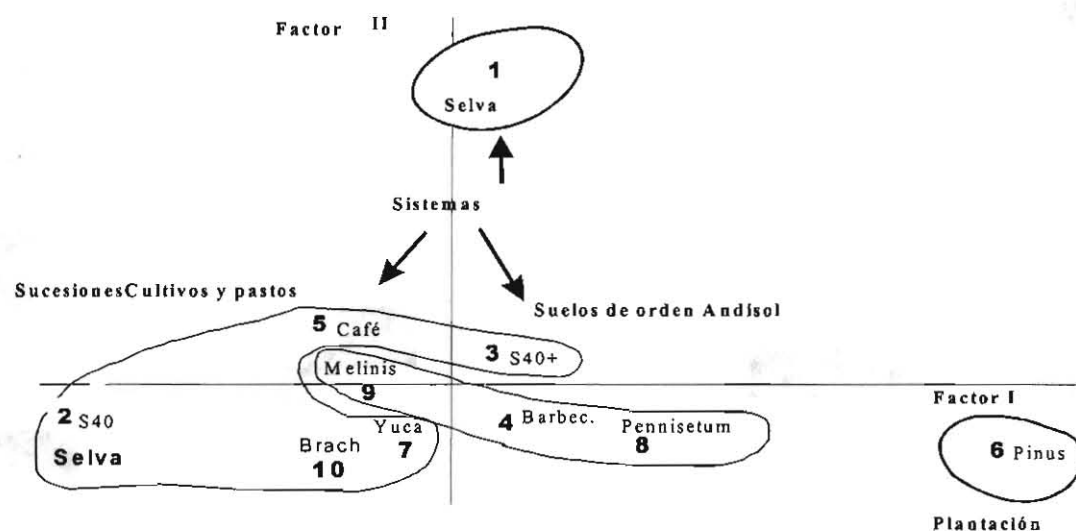
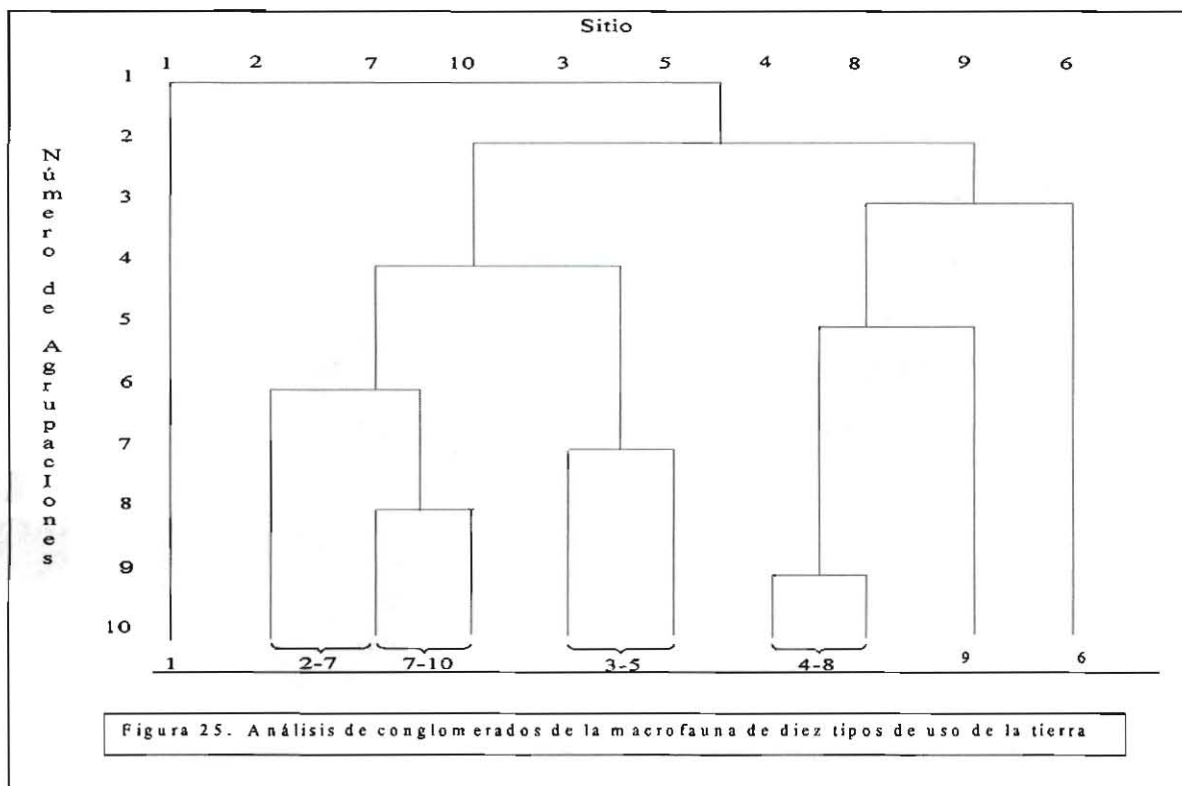


Figura 24 Tendencias en la distribución de los sitios con dos factores extraídos con el ACP



Cuadro 9. Análisis de conglomerados para el promedio de la abundancia de los grupos taxonómicos y análisis del suelo en diversos usos del Cabuyal

No. Conglomerados	USO DE LA TIERRA	L	H	T	C	M	A	C %	BIT Cmol(+) kg-1	C : N
1	Barbecho <i>Pennisetum</i> <i>Melinis</i>	376 (61)	3575 (2300)	33 (52.2)	138 (43)	34 (28.8)	25 (18)	12.5 3.2	1.3	14.9 (3.4)
2	S. 40 años S >40 años Café Tradicional Yuca Asociada <i>Brachiaria</i>	353 (73)	1372 (1071)	73 (99.5)	154 (71.7)	184 (208)	46 (54.9)	7.5 (3.8)	5.3	13.6 (3.1)
3	Plantación de Pino	29	518	0	42	85	46	12.9	2.1	13.9
4	Selva Secundaria	213	1658	2734	178	630	587	15.2	9.6	13.3

H= Hormigas;

T= Termitas;

C= Coleóptera;

M= Miriapoda;

A= Arachnida (Individuos)

C=Carbono orgánico;

BIT = Bases intercambiables totales;

C/N = Relación Carbono - Nitrógeno

Entre paréntesis () = Desviación estándar

4. 3.2 Patrones de riqueza de especies densidad y biomasa de la macrofauna en los sitios

En la Selva Secundaria se encontró alta riqueza taxonómica (98 unidades taxonómicas) y alta densidad de población (4175 ind / $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$) y biomasa (61.26 g.p.f./ $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$) (Figura 26a, b). Las capas 0 - 10 y 10 - 20 cm aportaron el 67% de la población, sin embargo, los estratos 20-30 cm y la hojarasca jugaron un papel importante con 19% y 12.6%. Las comunidades de Coleoptera constituyeron el mayor componente de la biomasa (52.7%), seguido por termitas (13.2%) y lombrices (12.5%) (Figuras 22). Las Selvas de 40 y más de 40 años presentaron valores cercanos para diversidad (27 y 31 respectivamente), aunque difirieron en densidad de población (2389 y 1168 ind / $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$) y en la biomasa (57.12 y 15.52 g / $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$). La distribución vertical para los dos sitios se concentró en el mantillo (15. 8 y 19.8%) y en 0 - 10 cm (66.8 y 44%) más que en la Selva Secundaria; así mismo, las lombrices (81 y 29%) y coleópteros (10.4 y 22.5%) fueron los taxa con el principal aporte para la biomasa. Los sistemas de cultivo de Café y Yuca y la Plantación de *P. patula* presentaron diferencias en densidad (2046, 676 y 512 ind / $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$), alta biomasa en el primero y segundo (72.2 y 49.3 g p f / $0.0625 \text{ m}^{-2} \times 0.3 \text{ m}$) y la más baja de los sitios en el tercero (1.9 g); la diversidad fue baja (31, 18 y 15 u.t. respectivamente). La fauna se encontró en mayor proporción en las capas 0 - 10 y 10 - 20 cm (Figura 27). En el Café y en la Yuca Asociada la biomasa está dominada ampliamente por las lombrices (79.6 y 80.9%) seguido por coleópteros (8.9 y 17.1%); mientras que en la Plantación de Pino las poblaciones fueron bajas y prevalecieron las hormigas y los coleópteros. En los pastizales de Pennisetum, Melinis y Brachiaria la fauna estuvo restringida a la capa 0-10 cm (78.4, 62.9 y 52.1%)

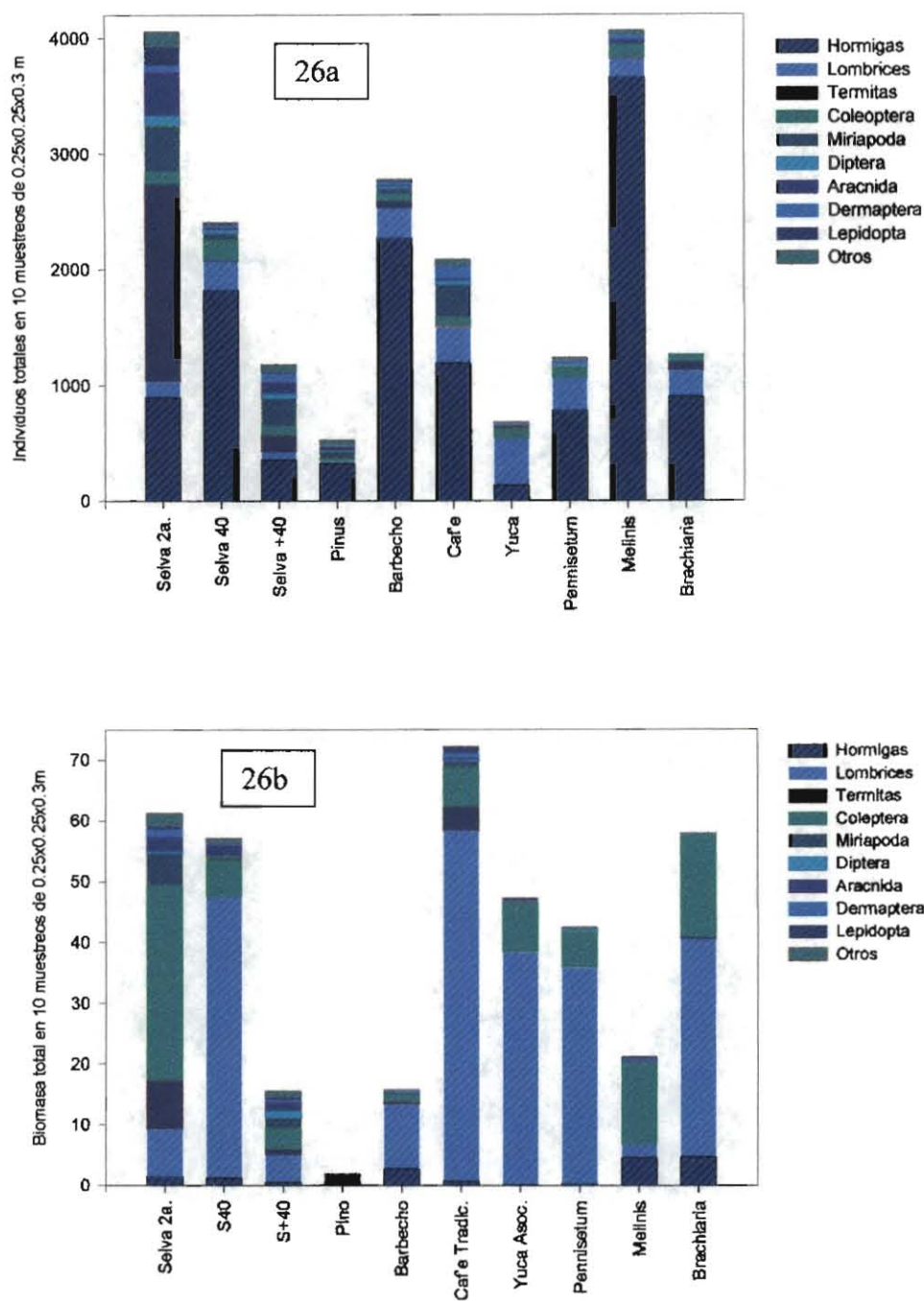


Figura 26a, 26b. Densidad y biomasa de la macrofauna en diez tipos de uso de la

del suelo y la diversidad fue de 20, 28 y 13 unidades taxonómicas respectivamente.

La densidad osciló entre 1223, 4018 y 1144 individuos con dominio de hormigas, en el Pastizal de Melinis (*Ectatoma tuberculatum*, *Dolichoderus sp.*, *Hypoponera sp.*, *Solenopsis sp* y *Tranopelta sp*) y en *Pennisetum* (*Linepithema sp*, *Pheidole sp*, *Neivamyrmex sp*, *Acropyga sp*). La biomasa osciló en 42.4, 21.2 y 45.9 g, con mayor aporte de lombrices y coleópteros en *Pennisetum* (83.4, 13.8%) y *Brachiaria* (77.9, 16%), y en Melinis de Coleoptera (64%) y hormigas (21.5%). El Barbecho presentó baja diversidad (19 u.t.) alta densidad de población (2762 individuos) y baja biomasa (15.7g). El mayor aporte en biomasa lo hicieron lombrices (64%) y hormigas (17%). La fauna se halló en mayor proporción en la capas 0 - 10, 10 - 20 cm del suelo (44.6 y 37.9%) (Figuras 27, 28).

4.3.3 Comunidades de lombrices de tierra en el contexto de la macrofauna

La variable biomasa diferenció a las lombrices como el grupo dominante en siete tipos de uso de la tierra, seguido por Coleoptera y hormigas (Cuadro 10, Figura 29); Termitas y Miriapoda tuvieron altos valores en la Selva Secundaria pero muy bajos en otros sitios o incluso sin presencia. Los valores más altos para densidad de lombrices se encontraron en los sistemas de cultivo de Yuca y Café debido a la presencia de *P. corethrurus*, así mismo fueron altos en *Pennisetum* por la presencia de la especie exótica *Amyntas corticis* y de la nativa *Glossodrilus sp 2* (Figura 29).

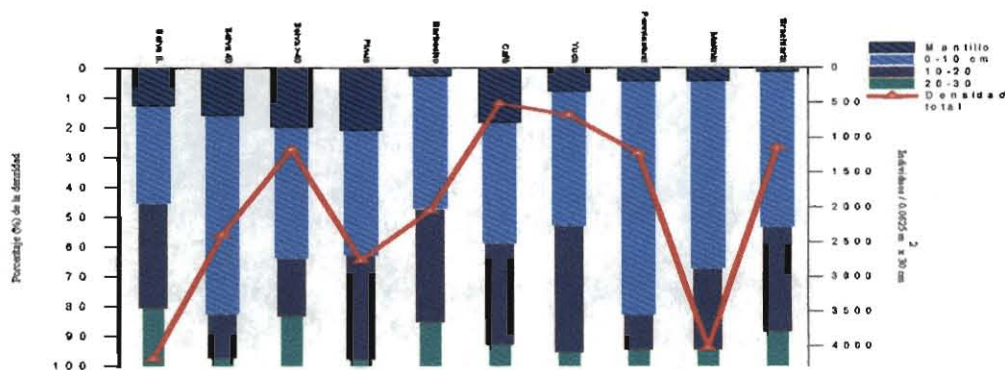


Figura 27. Distribución vertical en porcentaje y densidad total de la macrofauna de los tipos de uso de la tierra del Cayahua

En la Selva secundaria la biodiversidad de lombrices fue alta (9 especies: *Maipure ecuadoriensis*, *M. agricola*, *Gen n sp n.1*, *Glossodrilus sp 1*, *Onoreodrilus sp*, *Periscolex sp.*, *Thamnodrilus sp 2.*, *Dichogaster sp 2* y un *Ocnerodrilidae*) y se encontraron concentradas en los primeros 20 cm (84%) (Figuras 28, 29, 30). En el pastizal de *P. clandestinum*, fue igual el número de especies (*Genero Nuevo sp nueva*, *M. agricola*, *Maipure ecuadoriensis*, *Thamnodrilus*, *Glossodrilus sp 2*, *A. corticis*, *A. gracilis*, *Dichogaster sp 1* y *Dendrobaena octaedra*) pero con predominio en el estrato 0 - 10 cm (53%). En el pastizal de *Brachiaria humidicola*, el cultivo de Yuca Asociada y la Plantación de Pino sólo se encontró una especie (*P. corethrurus* para los dos primeros y *Glossodrilus sp 2* en el tercero) predominando en el estrato 0 -10 cm de profundidad (Figuras 28, 29, 30). En las Selvas de 40 años y de más de 40, la diversidad de

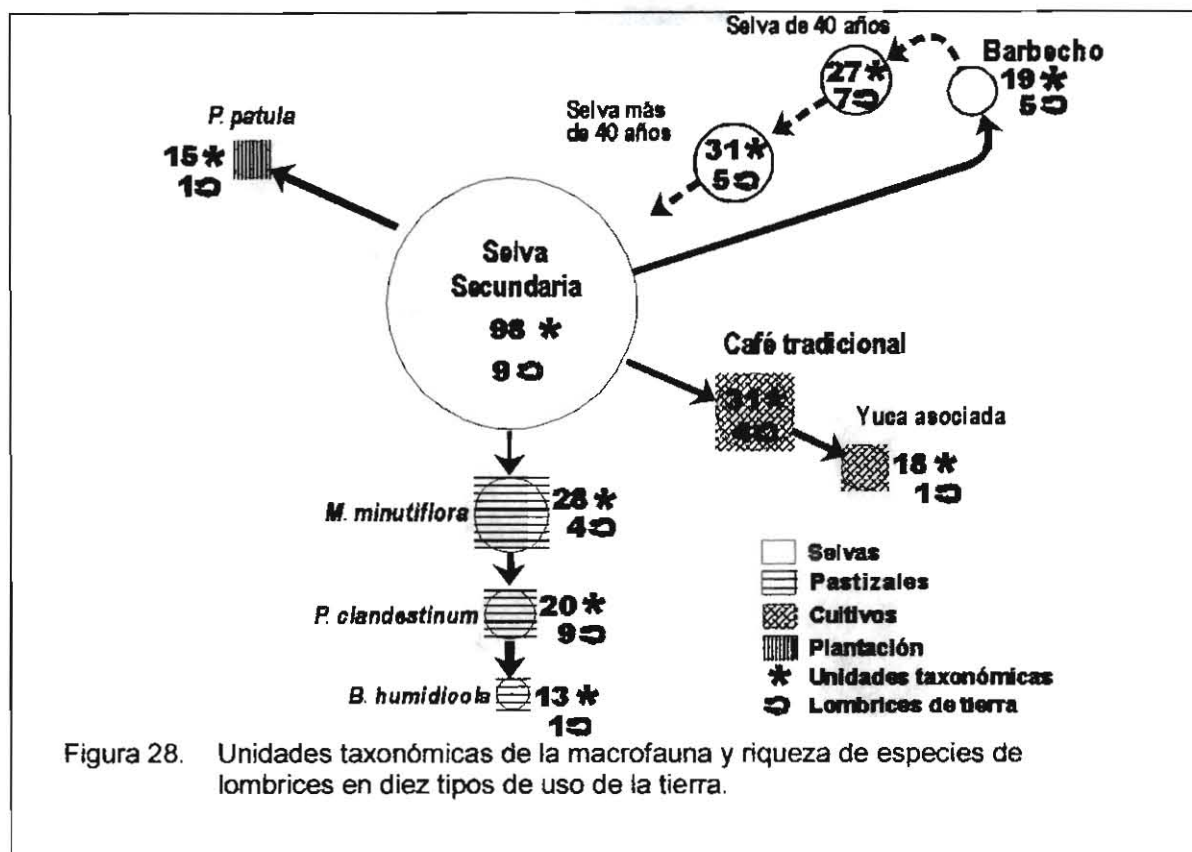


Figura 28. Unidades taxonómicas de la macrofauna y riqueza de especies de lombrices en diez tipos de uso de la tierra.

lombrices fue de 7 y 5 especies respectivamente (*Martiodrilus heterostichon*, *Glossodrilus* sp 1, *Periscolex* sp., *P. corethrurus*, *Dichogaster* sp 2, *Amyntas gracilis* y *Periscolex* sp. vs *Genero Nuevo* sp nueva, *M. agricola*, *Thamnodrilus* sp., *Periscolex* sp., y *Amyntas corticis*) y la distribución vertical estuvo regida por la capa 0 - 10 cm (57.6 y 50%).

La diversidad fue intermedia en el Café Tradicional (*P. corethrurus*, *Periscolex* sp, *Maipure ecuadoriensis* y *A. gracilis*) y *Melinis minutiflora* (*P. corethrurus*, *Glossodrilus* sp1, *Periscolex* sp y *Dichogaster* sp 2) y las poblaciones se concentraron en la capa 0 - 10 cm (62 y 63.2% respectivamente) (Figuras 29, 30). En el Barbecho se encontraron 5

especies (*A. corticis*, *Genero Nuevo sp nueva*, *M. ecuadoriensis*, *M. agricola* y *Thamnodrilus sp 1*) con mayor distribución vertical en la capa 0 - 10 cm del suelo (66.6%).

Cuadro 10. Biomasa de lombrices, hormigas, coleópteros y total de la macrofauna en los Usos del Cabuyal (total 10 muestreos de 0.0625 m² por sitio).

Usos de La tierra	Lombrices	Coleoptera	Hormigas (g)	Total (g)
Selva Secundaria	7.7	32.3	1.5	61.3
Selva de 40 años	46.1	5.9	1.3	57.1
Selva >40 años	4.6	3.5	0.6	15.5
Barbecho	10.5	1.3	1.3	15.7
Café	59.4	9.2	0.9	72.2
Plantación de Pinus	0.12	0.4	0.6	1.9
Yuca Asociada.	39.9	8.4	0.2	49.3
Pennisetum clandestinum	35.3	5.9	0.5	42.4
Melinis minutiflora	2.1	13.7	4.6	21.2
Brachiaria humidicola	35.4	7.3	2.3	45.9

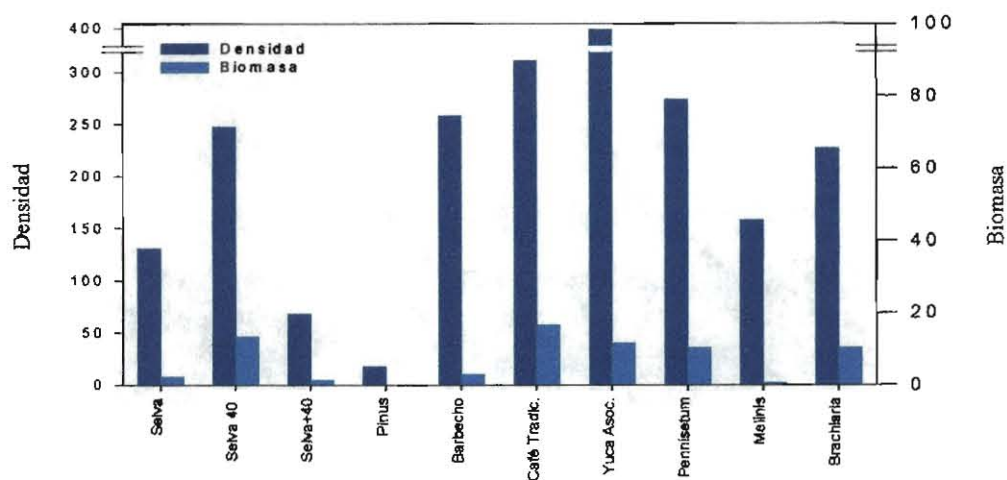


Figura 29. Densidad y biomasa total de lombrices en diez usos de la subcuenca del río Cabuyal, Colombia

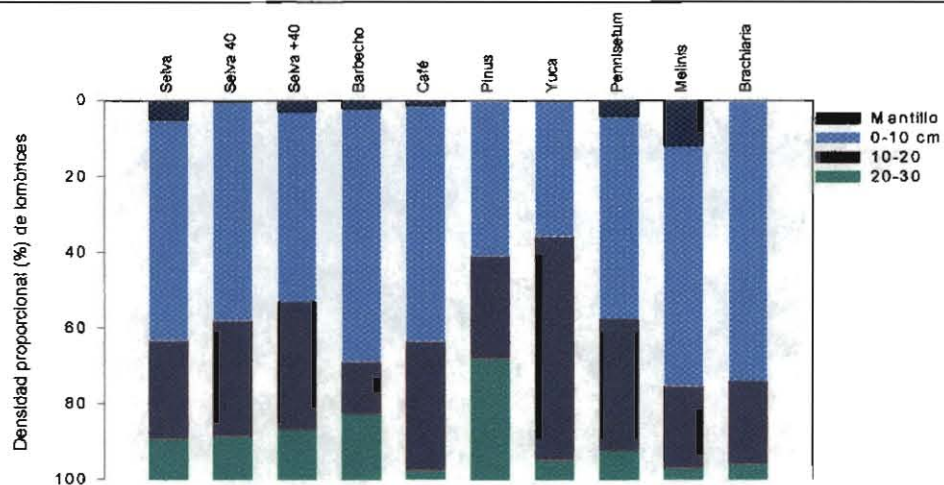


Figura 30. Distribución vertical porcentual de las lombrices por capa de suelo en diez tipos de uso de la tierra de la subcuenca del río Cabuyal

4.4 SELECCIÓN DE DOS SITIOS PARA PROFUNDIZAR EN LA ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA

4.4.1 Comunidades de lombrices de tierra

Se encontraron 18 especies (Cuadro 11), situadas en seis familias (Glossoscolecidae, Megascolecidae, Lumbricidae, Octochaetidae, Almididae, Ocnerodrilidae) y 13 géneros. Los dos tipos de uso de la tierra presentaron diferencias en el número de especies de lombrices, 13 (*Martiodrilus heterostichon*, *Martiodrilus agricola*, *Maipure ecuadoriensis*, *Pontoscolex corethrurus*, *Glossodrilus sp 1*, *Holoscolex sp*, *Periscolex sp*, *Thamnodrilus sp 1*, *Amyntas corticis*, *Amyntas gracilis*, *Dichogaster sp 1*, *D. breymanni*, *Gen x sp x*) para la Selva >40 años y 9 (*Martiodrilus agricola*, *Gen n sp Nueva*, *Maipure ecuadoriensis*, *Glossodrilus sp 2*, *Thamnodrilus sp2*, *Amyntas corticis*, *Amyntas gracilis*, *Dendrobaena octaedra*, *Dichogaster sp 2*) en el Pastizal de *Pennisetum clandestinum* (P.K); de las cuales diez (10) son nativas, cinco exóticas y tres desconocidas. Tres especies son comunes para los sitios. Las especies pertenecen a las categorías ecológicas epígeas (10) y endógeas (7), la mayoría de ellas (14) habitan las capas 0 - 20 cm, con distribución promedio vertical en 0 - 10 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Familias y especies de lombrices en dos usos de la tierra de las laderas andinas del departamento del Cauca

FAMILIA - ESPECIE	Uso de tierra	Categoría	N/E	Distribución	D.P.V	Biomasa máxima
GLOSSOSCOLECIDAE						
<i>Martiodrilus heterostichon</i> (Schmarda,	S>40	Endógea	Nativa	Euri	17.7 (0.7)	22.1
<i>Martiodrilus agricola</i> (Cognetti, 1904)	S>40 – Pastizal	Epígea	Nativa	Euri	6.9 (0.8)	1.2
<i>Gen n sp Nueva</i>	Pastizal	Endógea	Nativa	Esteno	6.2 (0.7)	9.1
<i>Maipure ecuadoriensis</i> (Michaelsen, 1900)	S>40–Pastizal	Epígea	Nativa	Euri	5.2 (0.1)	2.4
<i>Pontoscolex corethrurus</i> , (Muller, 1856)	S>40	Endógea	Exótica	Euri	6 (0.97)	0.8
<i>Glossodrilus sp 1</i>	S>40	Endógea	Nativa	Esteno	6.9 (0.8)	0.01
<i>Glossodrilus sp 2</i>	Pastizal	Endógea	Nativa	Esteno	10 (0.67)	1.3
<i>Holoscolex sp</i>	S>40	Endógea	Nativa	Esteno	9.44 (2.1)	0.01
<i>Periscolex sp 1</i>	S>40	Epígea	Nativa	Esteno	5.5 (0.5)	0.5
<i>Thamnodrilus sp 1</i>	S>40	Epígea	Nativa	Esteno	6.3 (0.65)	3.2
<i>Thamnodrilus sp2</i>	Pastizal	Epígea	Nativa	Esteno	5 (?)	6.5
MEGASCOLECIDAE						
<i>Amyntas corticis</i> (Kinberg, 1867)	S>40 – Pastizal	Epígea	Exótica	Euri	5.2 (0.1)	1.7
<i>Amyntas gracilis</i> (Kinberg, 1867)	S>40 – Pastizal	Epígea	Exótica	Euri	5 (0.9)	1.8
LUMBRICIDAE						
<i>Dendrobaena octaedra</i> (Savigny, 1826)	Pastizal	Epígea	Exótica	Euri	5 (0.9)	0.4
OCTOCHAETIDAE						
<i>Dichogaster sp 1</i>	S>40	Epígea	¿?	¿?	5 (0.9)	0.3
<i>Dichogaster sp 2</i>	Pastizal	Epígea	¿?	¿?	Madera	
ALMIDAE						
<i>Drilocrius breymanni</i> (Michaelsen, 1897)	S>40	Epígea	Exótica	Euri	5 (0.9)	1.2
OCNERODRILIDAE						
<i>Gen x sp x</i>	S>40	Endógea	¿?	¿?	5.9 (0.9)	8.2

S>40=Selva de más de 40 años; Pastizal = *Pennisetum clandestinum*; D.P.V.= Distribución promedia vertical; ()=error estándar

4.4.1.1 Composición cuantitativa de las comunidades de lombrices

La fluctuación de la comunidad varió con la época en los dos sitios, en la Selva de >40 años, la abundancia estuvo comprendida entre 34 y 127 individuos por m^2 , con valores extremos en julio de 1995 y diciembre de 1996; la biomasa fluctuó entre 112.6, en julio de 1995, y 434.9 g p f por m^2 en agosto de 1996 (Figura 31). En el pastizal la abundancia fue más alta, 74 en diciembre de 1995 y 395 ind. m^{-2} en abril de 1996; la biomasa por el contrario, fue más baja, 9.4 en agosto de 1995 y 193 g.p.f. m^{-2} en abril de 1996 (Figura 31b). El patrón de distribución temporal de las poblaciones asociado con la precipitación no fue claro, puesto que en algunos meses de altas lluvias la abundancia fue baja; por lo tanto se dificulta explicar la correlación entre biomasa o abundancia y precipitación por que una abundante precipitación no asegura que el perfil de humedecimiento del suelo haya sido cubierto e incida directamente en el aumento o disminución de los valores (Figuras 31a, 31b).

Las especies más abundantes y con mayor aporte de biomasa en la Selva >40 años fueron *Martiodrilus heterostichon* (55%) y *Pontoscolex corethrurus* (30%). La primera, la de mayor tamaño y peso, se encontró en la totalidad de los muestreos con predominio en agosto, septiembre y noviembre; mientras que la segunda provino de submuestras situadas a orillas de

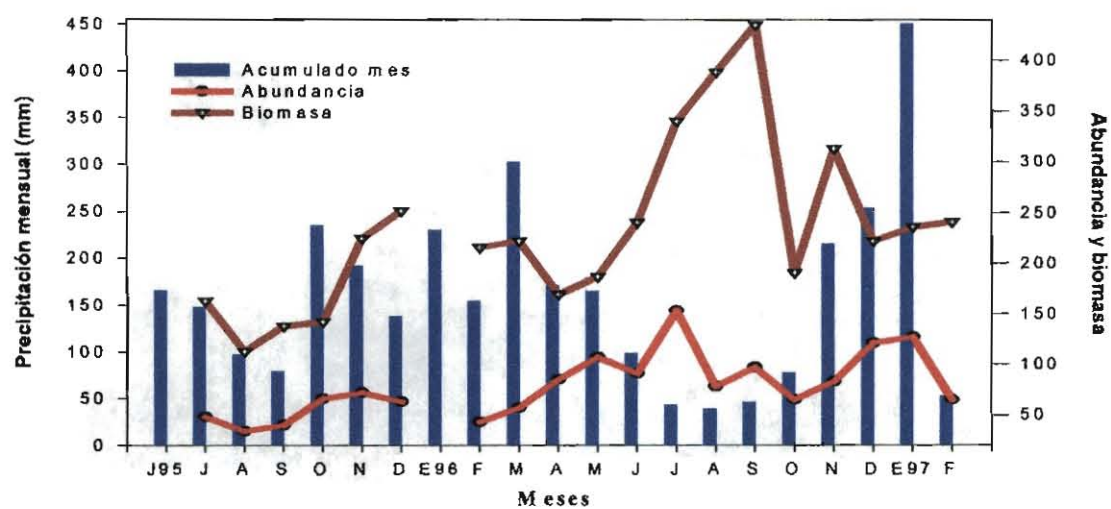


Figura 31a. Fluctuación de la precipitación, abundancia y biomasa de lombrices en la Selva > 40 años

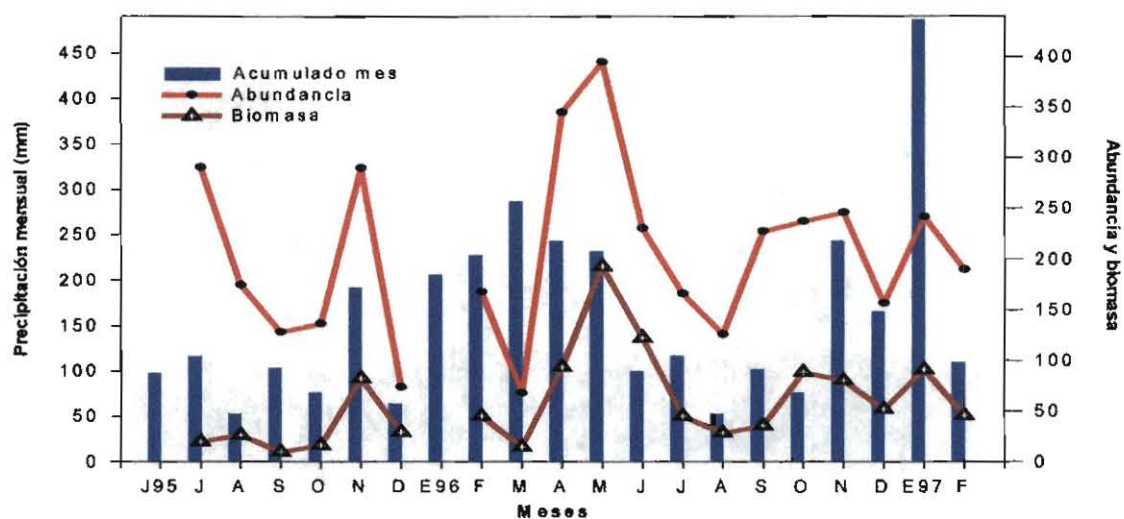
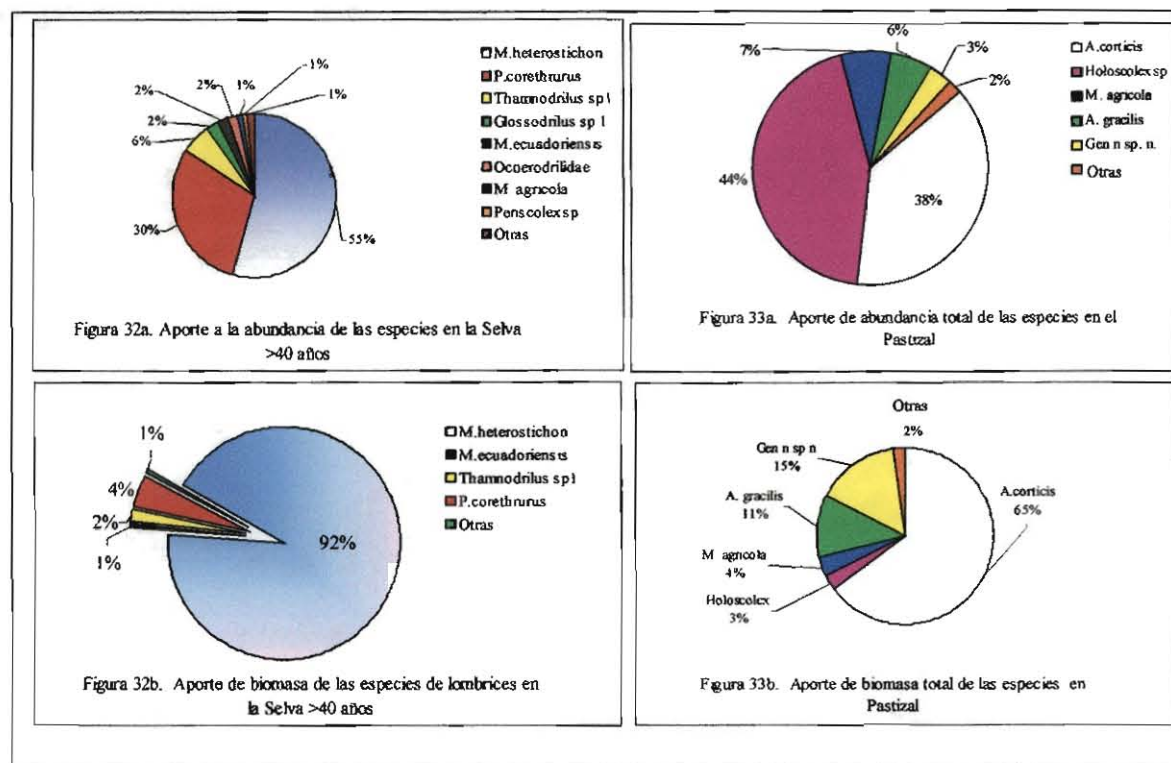


Figura 31b. Fluctuación de la Precipitación, abundancia y biomasa de lombrices en el pastizal de *Pennisetum clandestinum*

los caminos y en los límites externos donde la vegetación nativa aun no ha recolonizado; en la biomasa de la Selva predominó *M. heterostichon* (92%), seguida muy distante por *P. corethrurus* (4%). En el pastizal, los patrones de abundancia y biomasa por especies fueron distintos, pues las especies que más aportaron a la abundancia fueron *Glossodrilus sp 2* (44%), *Amyntas corticis* (38%) y *Martiodrilus agricola* (7%); en biomasa el mayor aporte fue de *A. corticis* (65%) y Género Nuevo sp nueva (15%) (Cuadro 8, Figura 32a, b, 33a, b).



En los dos sitios predominaron las categorías ecológicas epígeas y endógeas; el primer grupo incluyó once especies (*M. agricola*, *M. ecuadoriensis*, *Periscolex sp*, *Thamnodrilus sp 1*, *Thamnodrilus sp 2*, *A. corticis*, *A. gracilis*, *D. octaedra*, *Dichogaster sp 1*, *Dichogaster sp 2* y *Drilocrius breymannii*) que moran en o debajo del mantillo y en ocasiones ocupan la rizosfera a 5 cm de profundidad del suelo; el segundo grupo incluyó siete endógeas

mesohúmicas (*P. corethrurus*, *M. heterostichon*, Género Nuevo spp nueva y *Glossodrilus sp 1*, *Glossodrilus sp2*, *Holoscolex sp* y una especie de *Ocnerodrilidae*) cavadoras que en las temporadas de lluvias migran hacia la superficie sin salir del suelo, exceptuando a *M. heterostichon* que en ocasiones lo hace .

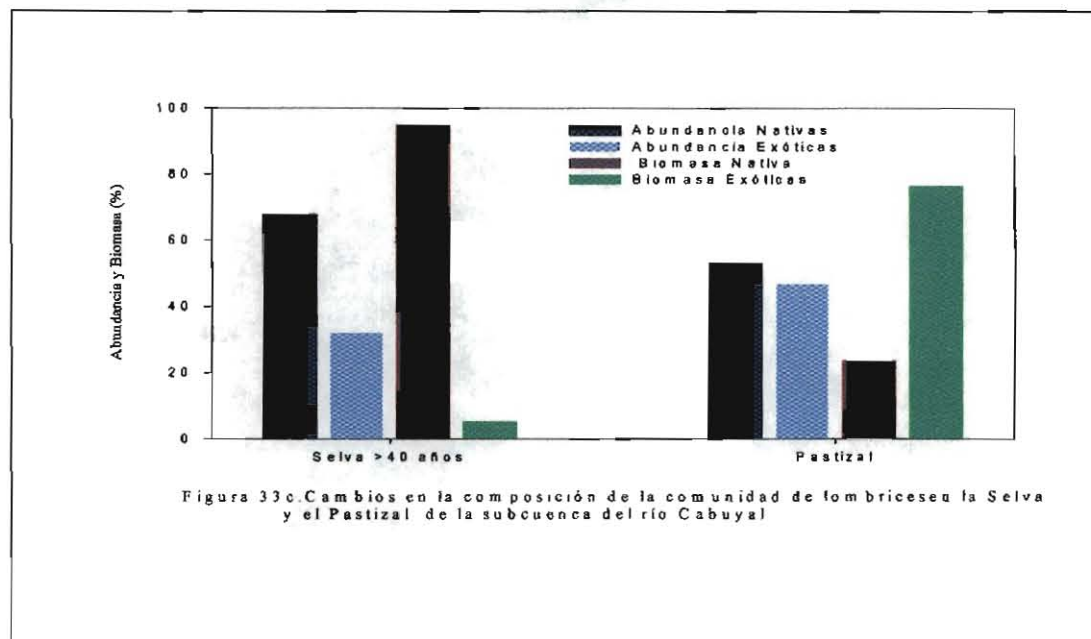
La mayor contribución de las categorías ecológicas a la densidad y biomasa en la Selva >40 años fue de las especies endógeas (90 y 95% respectivamente). En el Pastizal, el mayor aporte a la abundancia y biomasa fue de las epígeas (53 y 82%), debido a la presencia de las exóticas *A. corticis* y *A. gracilis* mientras que en las endógeas el mayor aporte lo hicieron *Glossodrilus sp 2* y Género Nuevo spp nueva.

En el Cabuyal, predominaron las especies nativas sobre las exóticas (10 vs 5), en las otras fue incierta (tres) por no haberse hecho su descripción a nivel de especie; así mismo, en la Selva >40 años se encontraron siete nativas y cuatro exóticas, mientras que en el Pastizal cinco y tres respectivamente. De otro lado, en la Selva >40 años dominaron en abundancia y biomasa las nativas sobre las exóticas (67.8 y 94.8% vs 32.1 y 5.1 respectivamente) (Figura 33c).

4.4.1.2 Variación espacio temporal

4.4.1.2.1 Distribución Vertical

Las poblaciones de lombrices en la Selva se encontraron hasta 60 cm de profundidad y presentaron un comportamiento bimodal (al igual que las lluvias en la región Andina



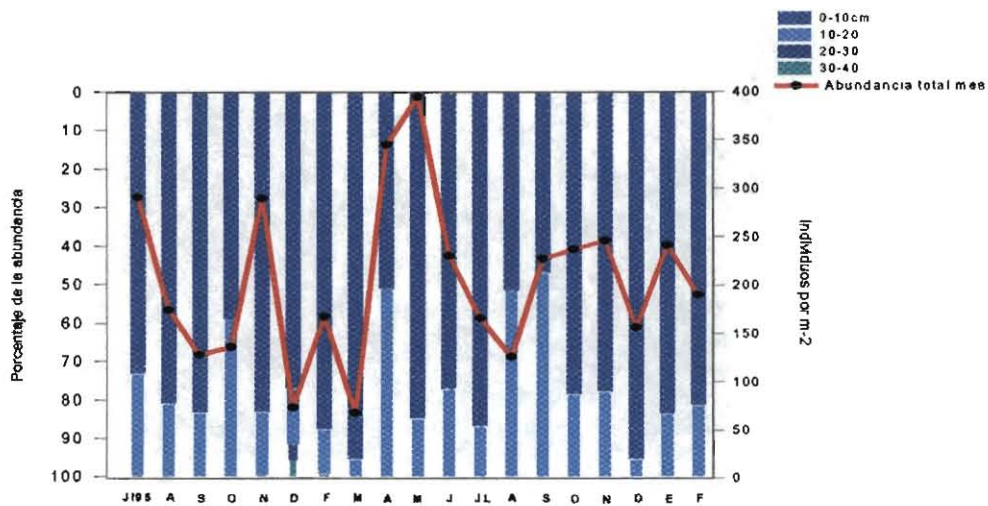
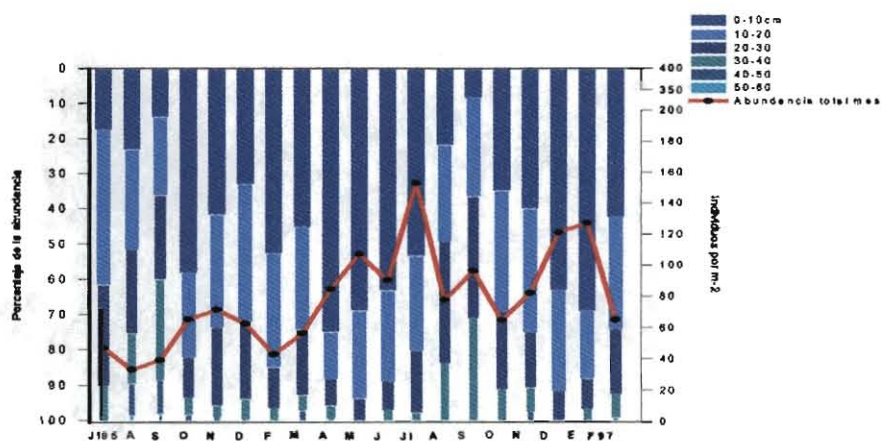
colombiana), con mayores concentraciones en la capa 0 – 10 cm que, en la mayoría de los casos, coincidieron con la temporada de mayor precipitación (abril - junio y octubre - diciembre); en los meses restantes, las poblaciones con capacidad para cavar en el suelo descienden y tienden a concentrarse en las capas más profundas (Cuadro 12, Figura 34a). Esta variación, sin embargo, está dada principalmente por el predominio en biomasa y abundancia de *M. heterostichon*. En el Pastizal la fluctuación fue menor y en la mayoría de los casos las especies se concentraron en la capa 0 – 10 cm del suelo (Cuadro 13, Figura 34b), con la excepción de algunas especies nativas, *Glossodrilus sp 2* que se distribuyó con alta proporción (45.5%) en el estrato 10-20, . *Género Nuevo spp nueva* (20.5) y *M. ecuadoriensis* (11.9).

Cuadro 12. Distribución vertical promedio (%) de las especies de mayor presencia en la Selva > 40 años (julio 95 - febrero 97)

Profundidad cm	Presencia de Especies							
	<i>M. heterostichon</i>	<i>M. agricola</i>	<i>Glossodrilus sp 1</i>	<i>M. ecuadoriensis</i>	<i>Thamnodrilus sp1</i>	<i>P. corethrurus</i>	<i>Periscolex sp</i>	<i>Holoscolex sp</i>
0-10	21.9	80.7	81.2	98.2	87.3	90.2	94.3	51
10-20	41.5	19.3	17	1.8	12.6	9.7	5.7	44.8
20-30	26.1				1.9			4.2
30-40	7.9							
40-50	1.7							
50-60	0.2							

Cuadro 13 Distribución vertical promedio (%) de las especies de mayor presencia en el Pastizal (julio 95-febrero 97)

Profundidad Cm	Presencia de Especies					
	<i>A. corticis</i>	<i>M. agricola</i>	<i>Glossodrilus sp 2</i>	<i>M. ecuadoriensis</i>	<i>Género Nuevo spp nueva</i>	<i>A. gracilis</i>
0-10	98.2	94.1	52.6	88.1	79.1	100
10-20	1.8	5.8	45.5	11.9	20.5	
20-30		0.1	1.1		0.4	
30-40			0.8			
40-50						
50-60						



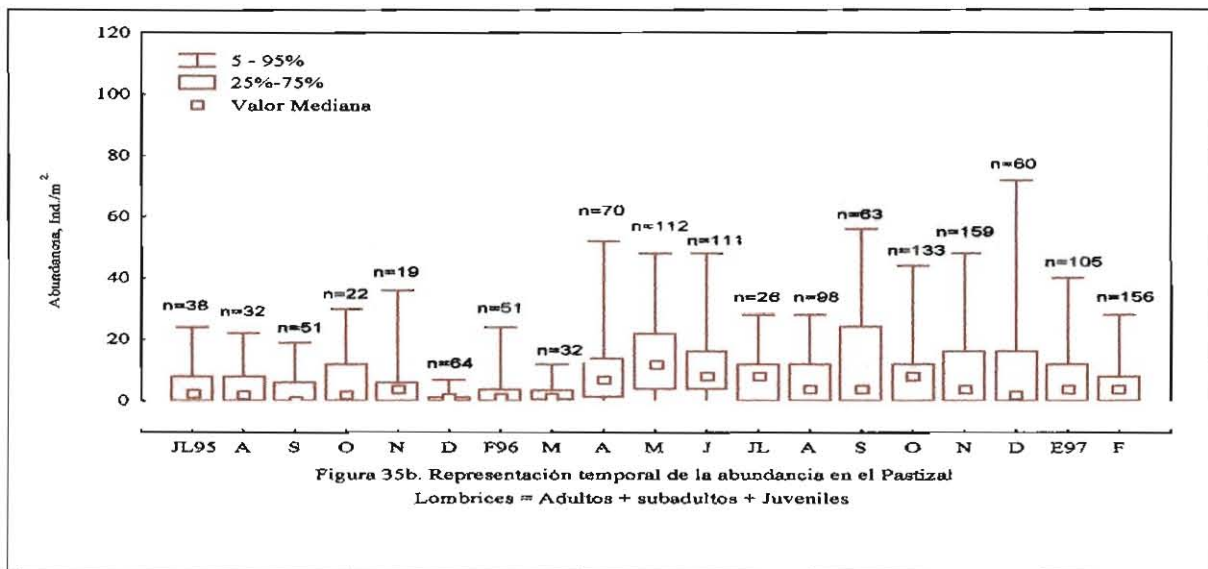
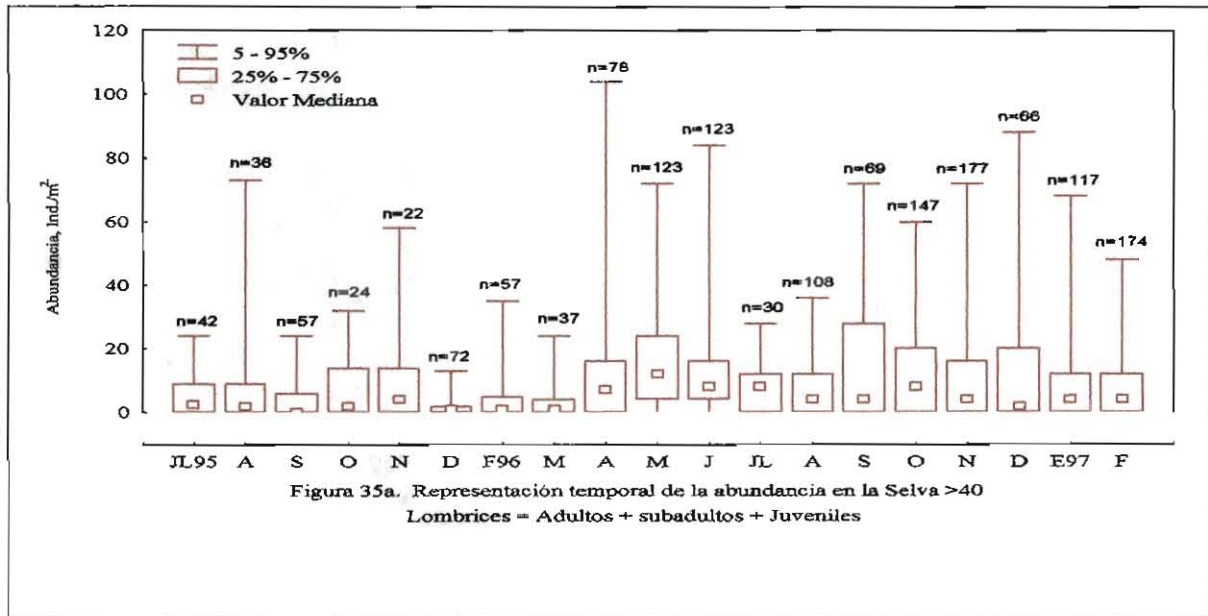
4.4.1.2.2 Distribución horizontal de la comunidad de lombrices

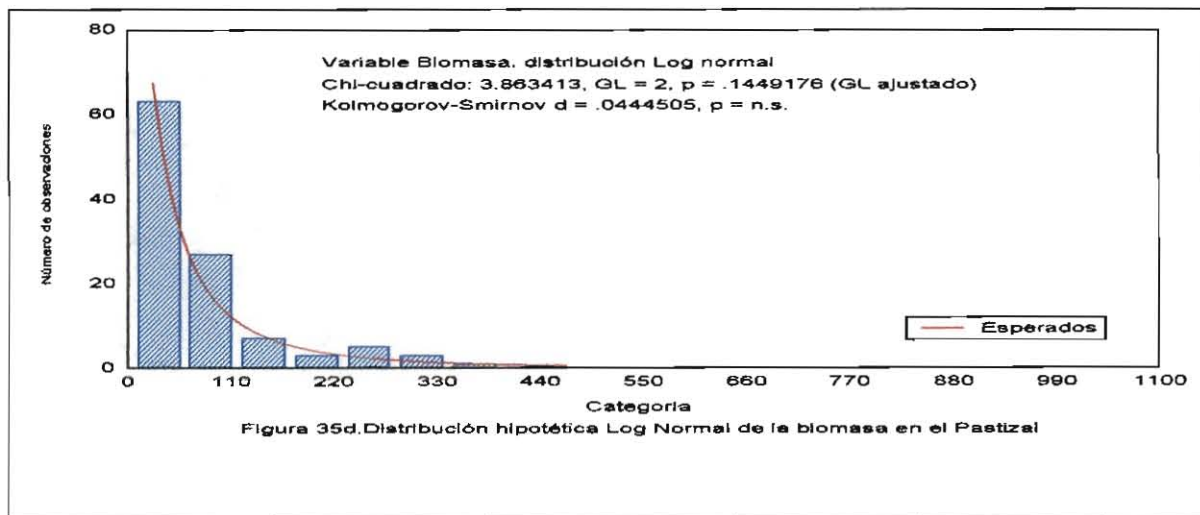
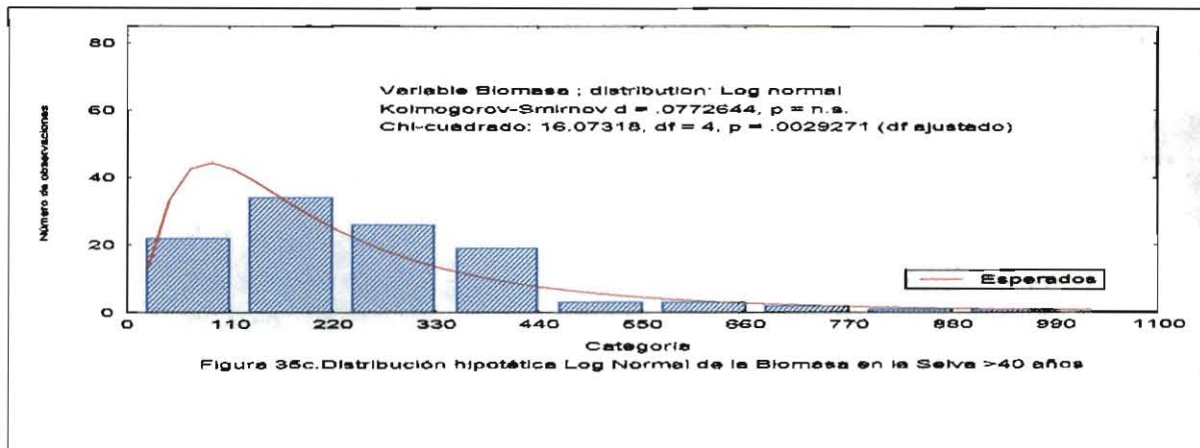
Las variaciones mensuales para la abundancia en los dos sitios mostraron un patrón temporal similar, con mayor variabilidad en las épocas de lluvias, excepto en agosto donde la varianza fue mayor en la Selva >40 años que en el Pastizal. Sin embargo, la Selva exhibió mayor complejidad que el Pastizal, con niveles más amplios de variabilidad y posiblemente más componentes que hacen que las interacciones fluctúen de manera extrema (Figuras 35a, 35b). En la estimación de los componentes de varianza para abundancia y biomasa por sitio, el factor temporal presentó menor variación que el espacial, lo cual indica mayor efecto del micrositio (Anexo 5).

Las pruebas de chi cuadrado y Kolmogorov – Smirnov para distribución normal de la abundancia y biomasa de los dos usos de la tierra fueron altamente significativa ($P < 0.00001$ y $P < 0.01$ respectivamente), lo que permitió rechazar la hipótesis de distribución hipotética normal de las observaciones de las variables abundancia y biomasa y que por el contrario, los registros se ajustaron a un patrón de distribución agregado o en manchas ($\sigma^2 > \mu$), razón por la cual se probó el ajuste de los datos a una distribución binomial negativa. Sin embargo, al realizar las pruebas de Kolmogorov – Smirnov ($P < 0.01$) y chi cuadrado ($P < 0.000001$), se observó que las variables tampoco se ajustaron a ésta, razón por la cual se hizo necesario explorar en otros modelos la variabilidad espacial de los parámetros.

Para el caso de la biomasa se logró ajustar las observaciones con el modelo log normal (Figuras 35 c y 35d), utilizando la fórmula $S(R) = S_0 \exp(-a^2 R^2)$; donde $S(R)$ = número

de especies en la i -ésima clase a la derecha y a la izquierda de la curva simétrica; S_0 = número de especies en la octava modal; $a = (2\sigma)^{1/2}$ el inverso del ancho de la distribución.





El análisis de la variabilidad espacial de la abundancia con las leyes de Taylor e Iwao demostró el carácter agregado de la población de lombrices en los monolitos muestreados para la Selva >40 años ($b=1.97$; $\beta=1.24$, nivel de significancia >1) y el Pastizal ($b=2.14$; $\beta=1.21$, nivel de significancia >1) (Cuadro 14), (Figuras 35e, 35f).

Los modelos de Kuno y Green permitieron identificar un plan de muestreo secuencial a partir del conocimiento de la varianza y la media de las distribuciones de la población de lombrices. Esta situación fue favorable pues a partir de la variación de los valores promedios se pudo calcular un tamaño de muestra n cubriendo un rango de abundancia

definido para la población. Por ejemplo en la Selva, si se espera encontrar en el campo una abundancia acumulada de 653 ind. m^{-2} y promedio de 54, se deberán tomar 12 muestreos de 1 m^2 , de acuerdo con el modelo, el nivel de confianza esperado será del 10% y así sucesivamente si se quiere un nivel desconfianza mayor o menor (20%) (Cuadros 15, 16).

Cuadro 14. Coeficientes de Taylor e Iwao calculados para la abundancia en los usos de la tierra

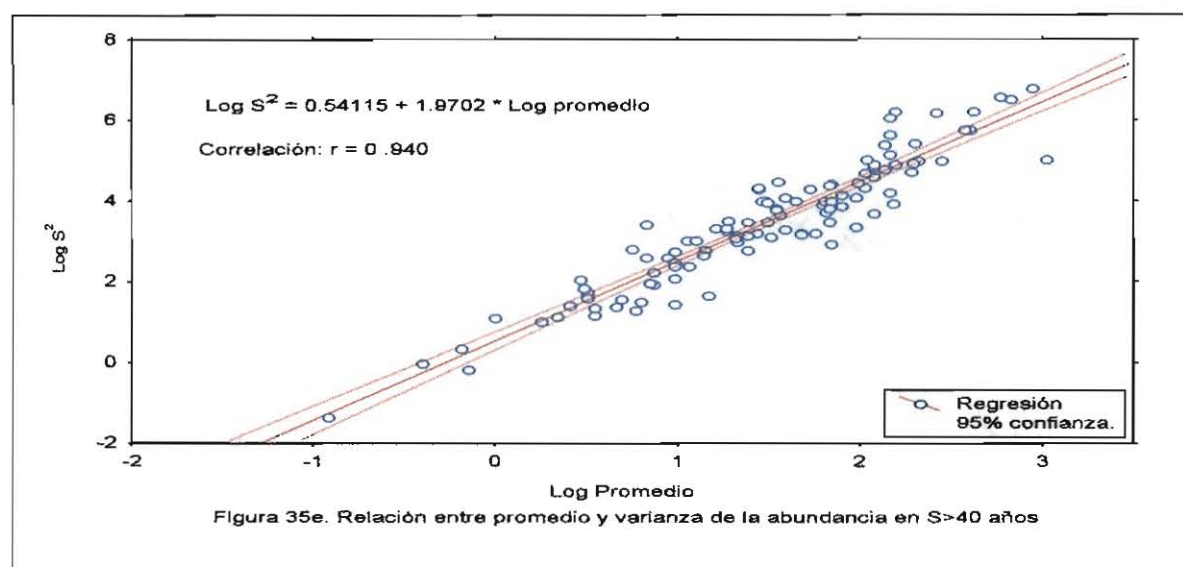
Uso de Tierra	Ley de Taylor					Ley de Iwao			
	N	a	B	M*	R ²	∞	β	m*	R ²
S>40 años	111	0.54	1.97	$\text{Log}(S^2)=a+b\text{Log}\hat{y}$	0.884	0.49	1.24	$m^*=\infty+\beta\hat{y}$	0.815
Pastizal	108	1.41	2.14	$\text{Log}(S^2)=a+b\text{Log}\hat{y}$	0.95	0.95	1.21	$m^*=\infty+\beta\hat{y}$	0.753

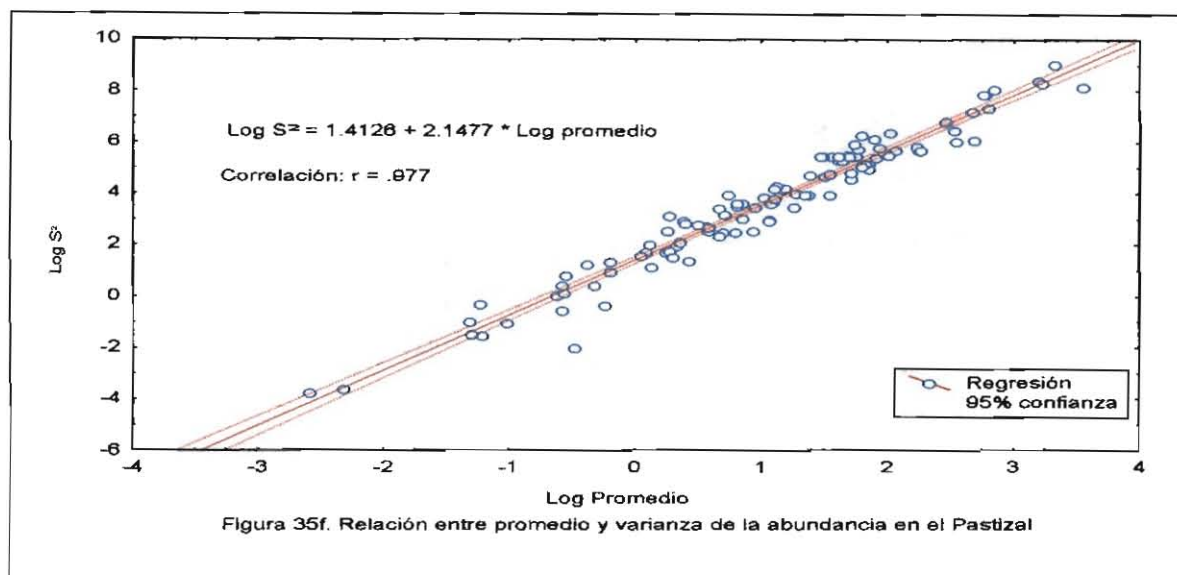
Cuadro 15. Propuesta de un plan de muestreo secuencial para la población de lombrices en la Selva >40 años

Tamaño Muestra	Acumulado	Promedio	Acumulado	Promedio
	10% (0.01)	10% (0.01)	20% (0.2)	20% (0.2)
7			8377	1197
8	.		112	14
9	.		.	.
10	237277	23728	.	.
11	10886	990	.	.
12	653.2	54	.	.
13	49	4	.	.
14
15

Cuadro 16. Propuesta de un plan de muestreo secuencial para la población de lombrices en el Pastizal

No. Muestras	Acumulado	Promedio	Acumulado	Promedio
	20% (0.2)	20% (0.2)	25% (0.25)	25% (0.25)
7	.	.	2103	300
8	.	.	1043	130
9	9147	1016	562	63
10	5260	526	323	32
11	3190	290	196	18
12	2020	168	124	10
13	1327	102	82	6
14	899	64	55	4
15	626	42.		





Los índices de abundancia y biomasa de la población estimaron como irregular la distribución de las lombrices, y que existió tendencia a la aparición de zonas con mayor concentración de lombrices en los monolitos, relacionada con el área que se está muestreando. En la mayoría de los monolitos, los tamaños de clase para los índices de abundancia y biomasa fueron bajos para los dos sitios con relación al promedio. En la Selva >40 años, 50 de los 111 monolitos tuvieron abundancia mayor que 0.98, es decir que sus valores fueron casi iguales o superiores al promedio, mientras que para la biomasa en 45 fue casi igual o superior al promedio del mes. En el Pastizal, los monolitos con abundancia y biomasa casi igual o superior al promedio del mes (\cong ó >0.98) fueron 54 y 44 respectivamente. La comparación de los tamaños de clase de los índices de abundancia y biomasa para los dos sitios arrojó diferencias significativas (chi cuadrado, $P=0.05$; Wilcoxon $P=0.25$) para las escalas generadas (Figura 36).

4.4.2 Variación espacio - temporal de la población de lombrices por sitio

La población de lombrices presentó diversos patrones de distribución temporal, en algunas especies los valores más altos de abundancia y biomasa ocurrieron en la temporada de lluvias (marzo - mayo), otras los incrementaron en la temporada seca (junio - septiembre) y, en otros casos no hubo regularidad. En S>40 años, por ejemplo, la abundancia y biomasa de *M. heterostichon* se incrementó en la época seca, tiempo que coincidió con la puesta anual de capullos y con la eclosión de juveniles (Figura 37a); la abundancia y biomasa de *P. corethrurus* aumentó, con altibajos de entre periodos de abril - julio y diciembre - enero, sin respuesta clara a las lluvias con los picos más altos en junio - julio y diciembre y enero (Figura 37b); de otro lado, las especies *Thamnodrilus sp 1*, *Glossodrilus sp 1*, *M. agricola*, *M. ecuadoriensis* y *Periscolex sp* ocurrieron de forma irregular con picos altos entre marzo - abril y octubre - diciembre (Figuras 37c, d, e, f, g).

En el Pastizal, las especies presentaron patrones dispersos con relación a su distribución temporal, las más abundantes, *A. corticis*, *Glossodrilus sp 2*, *M. agricola*, *Género Nuevo spp nueva*, *A. gracilis*, y *M. ecuadoriensis* ocurrieron a lo largo de todo el año con los picos más altos entre abril - junio y noviembre - enero (Figuras 38a, b, c, d, e, f). Cuatro especies incrementaron su abundancia en enero de 1997, lo que coincidió con el mayor volumen de lluvias para un mes en el período evaluado (38a, c, e, f). *Glossodrilus*

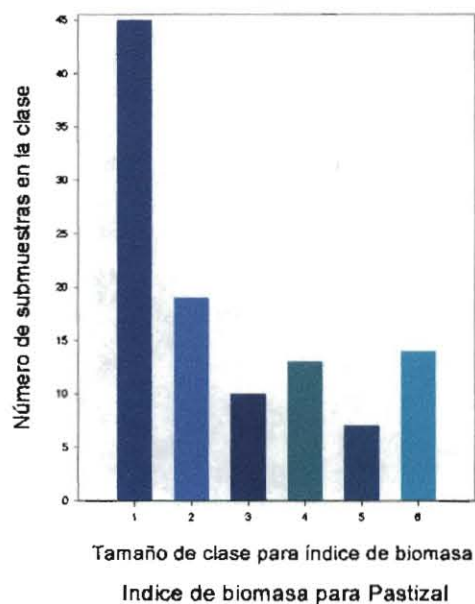
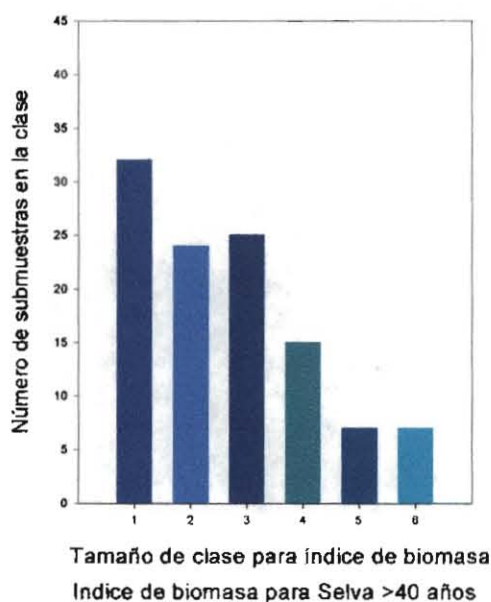
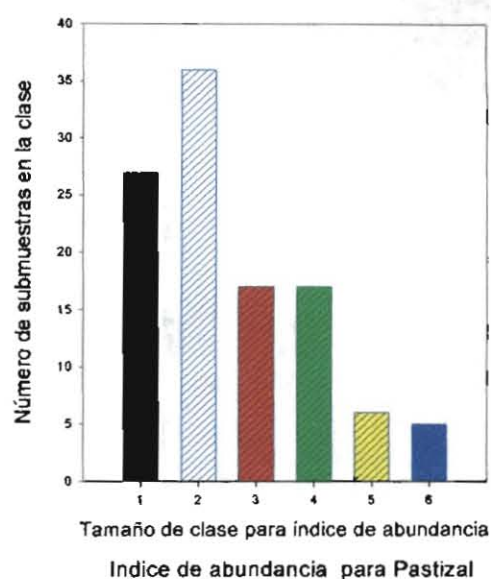
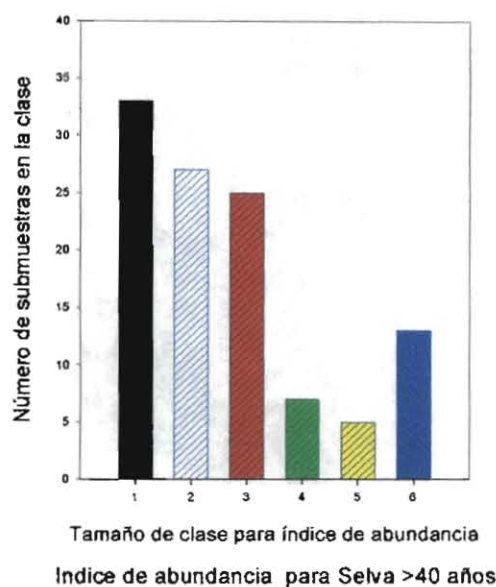


Figura 36. Índice de abundancia y biomasa integrado, extraído para los monolitos muestreados durante 18 meses en dos tipos de uso de la tierra en el cabuyal. Clase 1=0-0.615; Clase 2=0.616-0.97; Clase 3=0.98-1.33; Clase 4=1.34-1.7; Clase 5=1.71-2.05; Clase 6=2.06-4.1.

sp 2 se caracterizó por su alta abundancia y poca biomasa debido al tamaño pequeño (Cuadro 11, Figura 38b), por el contrario, *Género Nuevo spp* nueva presentó alta biomasa y baja abundancia debido a su tamaño (Cuadro 11, Figura 38d).

Este comportamiento impredecible en la S>40 años pudo deberse a la alta diversidad vegetal espacial y a las altas tasas de fitomasa aportadas al suelo, y en el Pastizal, a la alta acumulación de raíces y hojas superficiales, lo que garantiza la cobertura superficial permanente, la estructuración del suelo, aporte de nutrimentos y rangos de humedad ideales.

En las especies epígeas de S >40 años que habitan en el mantillo y en 0 –10 cm del suelo, el papel de émbolo o de pistón para movilizarse entre la hojarasca o rizosfera, lo realizan los diez o doce primeros segmentos pues cuentan con septos o disepimentos delgados como membranas que no les permiten profundizar. Por otro lado, se observó que durante ciertas épocas del año *M. agricola* y *M. ecuadoriensis* entran en estado de quiescencia, las restantes, permanecen en el mantillo o emigran hacia humedales como *Thamnodrilus sp 1*, troncos en descomposición o hacia bromelias como *Dichogaster sp 1*, *Dichogaster sp 2*, o como en el caso de *A. corticis*, se refugian en la rizosfera pues el hecho de poseer setas numerosas alrededor del tegumento le confiere ventajas para adaptarse a la adversidad climática (Easton, 1987). Por el contrario, las endógeas se caracterizaron por presentar setas largas, y disepimentos o septos gruesos, espesos y musculares a partir de 6/7, con los cuales cavan y construyen galerías, además el desarrollo de los músculos anteriores y el desplazamiento posterior de la molleja, permiten la rápida migración hacia las capas profundas del suelo donde

son menos intensos la depredación y los cambios de humedad y temperatura (Fragoso, 1991). Exceptuando *M. agricola* y *M. ecuadoriensis* no fue frecuente hallar ejemplares de estas especies en estado de quiescencia o diapausa; al parecer las poblaciones superan la sequía en estado de capullo. *M. heterostichon*, *Glossodrilus sp 1*, *Holoscolex sp*, y *Ocnerodrilidae*, moran en las capas 0 - 60 cm del suelo en la Selva. Sólo la especie mesohúmica, *M. heterostichon* habita desde los 1300 (Vereda el Socorro) hasta 1750 m.s.n.m (Vereda El Oriente) en suelos con altos porcentajes de humedad (27.5 - 49.5%, v/v); al entrar la temporada de lluvias los ejemplares juveniles después de eclosionar, ascienden desde las capas profundas (10-50 cm) hacia la superficie del suelo, mientras adultos y asexuados finalizan su diapausa obligada, en la cual entraron al intensificarse los meses secos, para ascender hasta las capas 0-20 cm a consumir suelo. Al iniciarse la sequía, los individuos descienden y después de 30 cm, al disminuir la humedad por debajo del 22% (v/v), entran en diapausa cubriéndose con sus heces y formando cámaras de diapausa", la cual los protege de la sequedad hasta el retorno de las lluvias. En la siguientes temporadas el fenómeno se repite pero sin la postura y eclosión de capullos, la cual solo ocurre una vez al año durante los meses de junio - septiembre. Así mismo, fue la especie con mayor abundancia y biomasa a través de la mayoría de los meses, con picos máximos en los meses de agosto, septiembre, noviembre hasta diciembre, época en la cual ocurrió la postura de sus capullos (Figuras 39a).

En el Pastizal predominó en términos de abundancia porcentual *Glossodrilus sp 2* con valores entre 27.4 (diciembre) y 73.4% (septiembre de 1995); se halló en las capas 0 - 20 cm con reducida migración hacia capas profundas en la temporada seca, sin quiescencia pero con

abundantes capullos; además de su talla pequeña, 5 - 6 cm, cuenta con septos gruesos, en 6/7 - 10/11, cónicos y en forma de embudo que le permiten cavar. Las epígeas *A. corticis* (con abundancia porcentual entre 9.7 en septiembre y 67.3% en noviembre de 1995), *M. agricola* (sin presencia en noviembre apareciendo hasta julio de 1995 (31.7%), y las restantes *M. ecuadoriensis*, *A. gracilis*, *D. octaedra*, *Thamnodrilus sp 2* y *Dichogaster sp 1* (especies raras que se presentan en un bajo porcentaje de los muestreos) ocurrieron en el mantillo, rizosfera a 0 - 10 cm, o en troncos en descomposición como en el caso de *Dichogaster sp 1*; finalmente, *Gen n sp n*, endógea, vive en la capa 0-20 cm (Figura 39b).

4.4.3 Cambios en la población y en la distribución horizontal de las especies

La estructura de edades de las especies permitió diferenciar el dominio de unas categorías sobre otras. Los dos sitios se caracterizaron por el predominio en biomasa de adultos de las especies *M. heterostichon*, *Thamnodrilus sp 1* y *P. corethrurus* en S >40 años y *A. corticis*, *Género Nuevo spp nueva* y *A. gracilis* en el Pastizal. En S >40 años *M. heterostichon* domina en todas las categorías (92.6, 93.2, 92.4 y 92.1%) con mayor presencia de individuos maduros (adultos y subadultos), seguida por *Thamnodrilus sp 1* (4.3, 4.8, 6.1 y 4%); en el Pastizal *A. corticis* presentó los valores más altos de las categorías excepto para capullos que se encontraron en pocas ocasiones (66.4, 62.7, 43.9 y 3.3%), seguida por *Género Nuevo spp nueva* (13.7, 20.8, 27.2 y 26.7) (Figuras 40a y 40b).

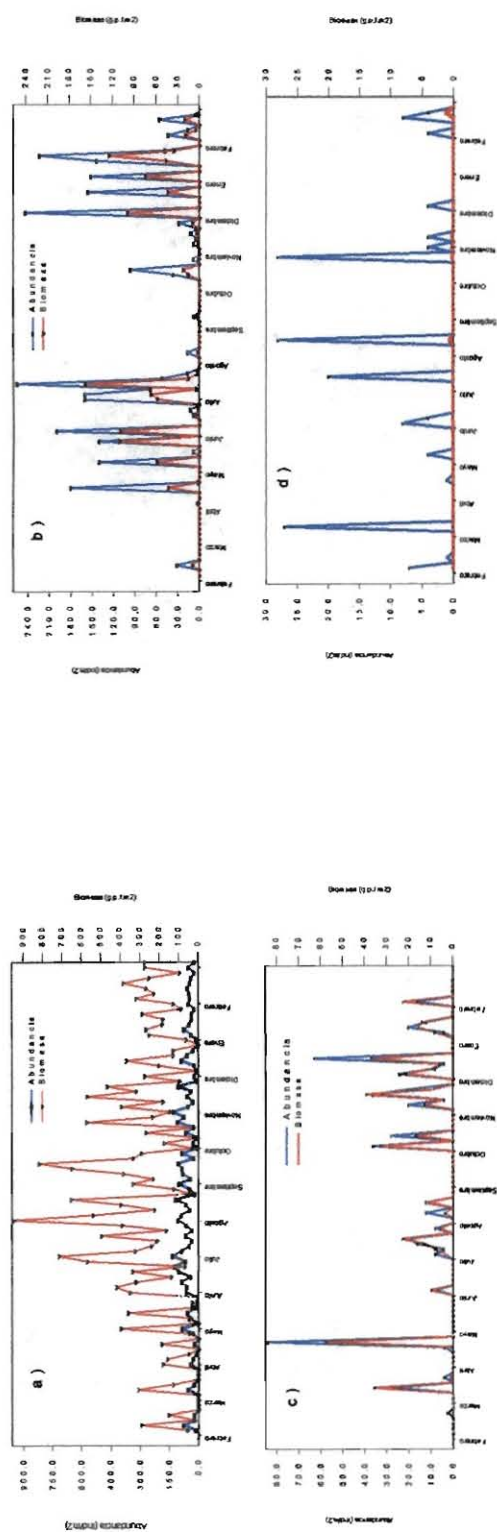


Figura 37. Fluctuación temporal por muestreo de la abundancia y biomasa de las especies en la S > 40 años. a) *M. heterostichon*; b) *P. corethrus*; c) *Thamnoderilus sp 1*; d) *Glossodrilus sp 1*.

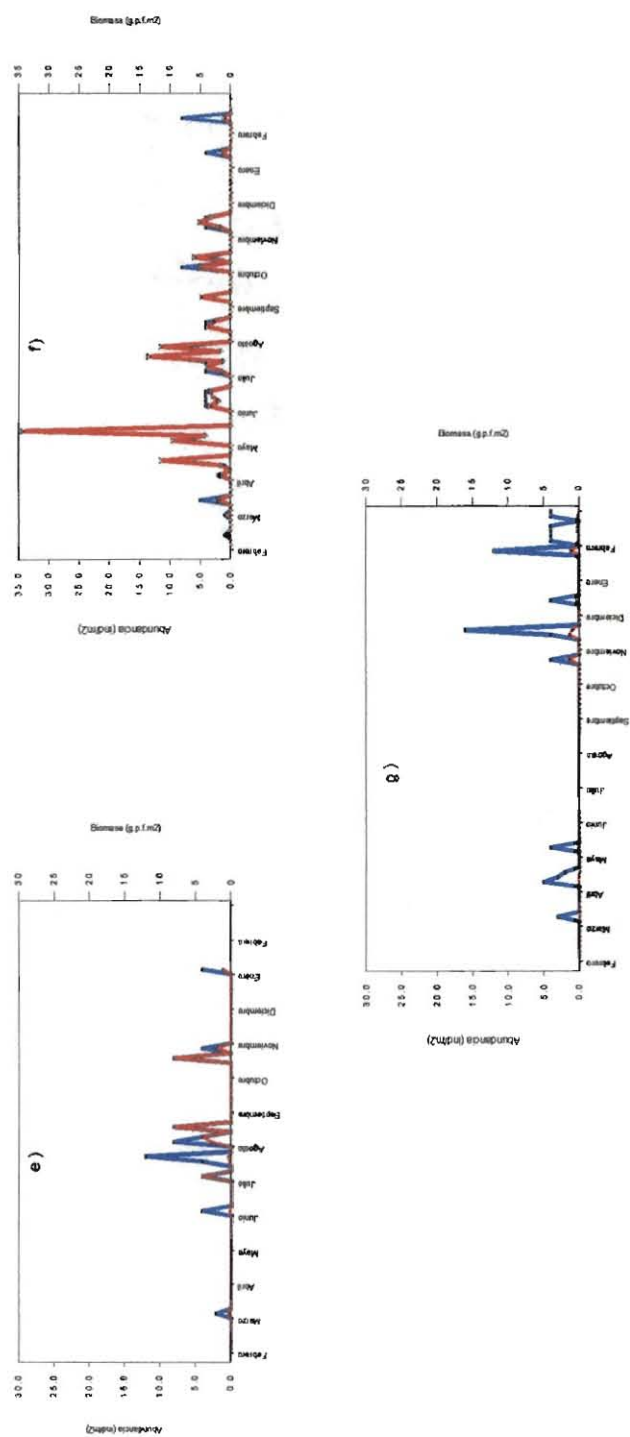


Figura 37. Fluctuación temporal por muestreo de la abundancia y biomasa de las especies de la Selva > 40 años.
e) *M. agricola*; f) *M. ecuadoriensis*; g) *Periscollex sp.*

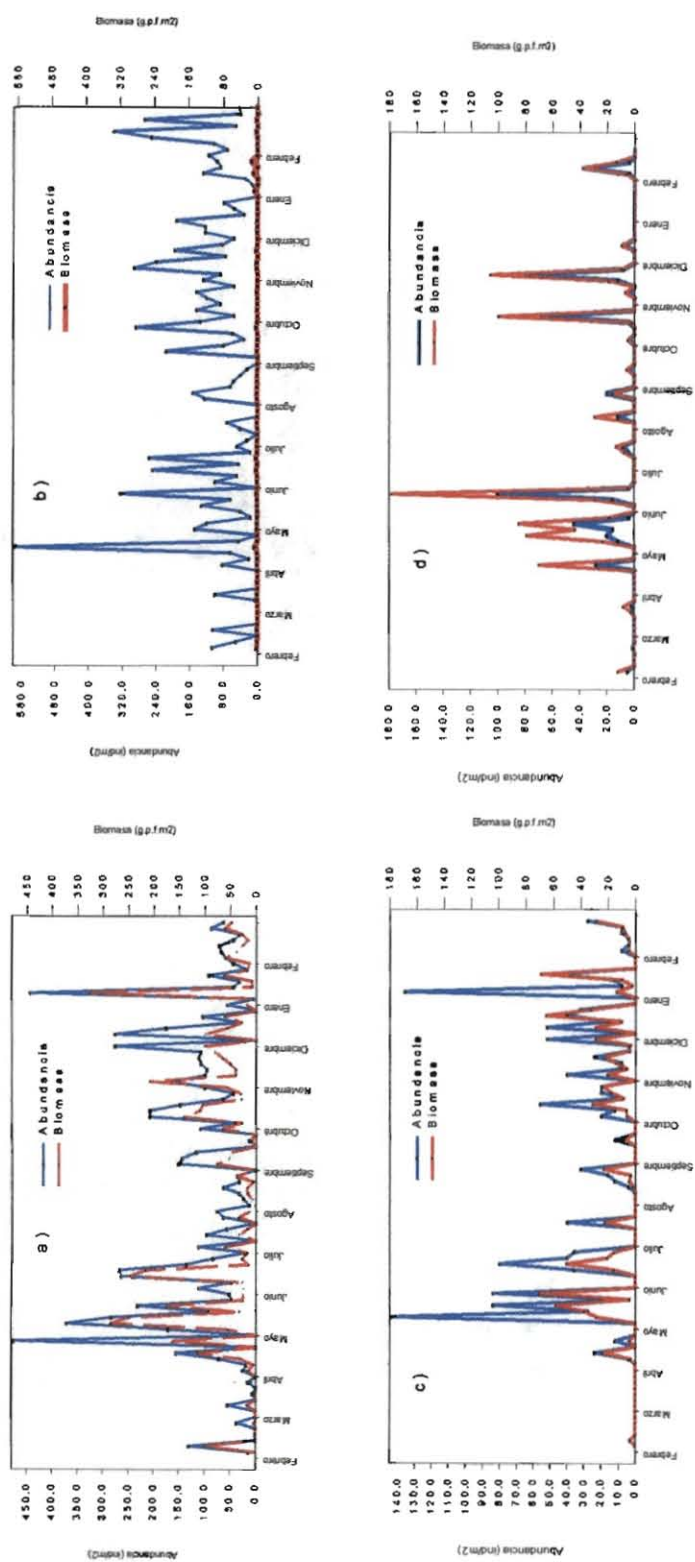


Figura 38 Fluctuación temporal por muestreo de las especies en el pastizal de *P. clandestinum*
a) *A. corticis*; b) *Glossodrilus sp 3*; c) *Thamnodrilus sp 2*; d) *Genaro Nuevo spp nueva*.

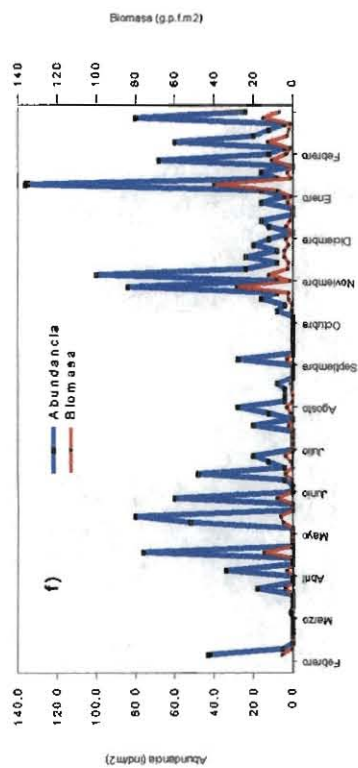
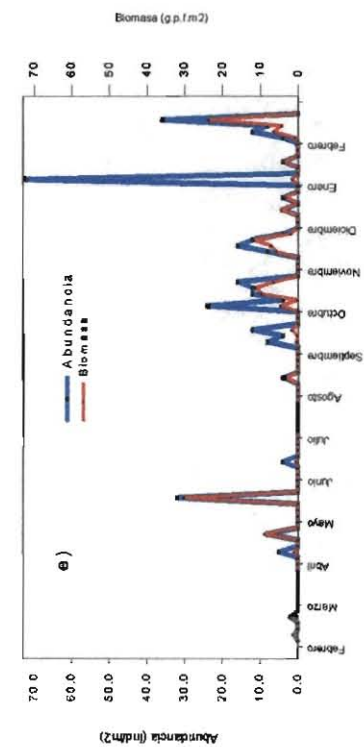
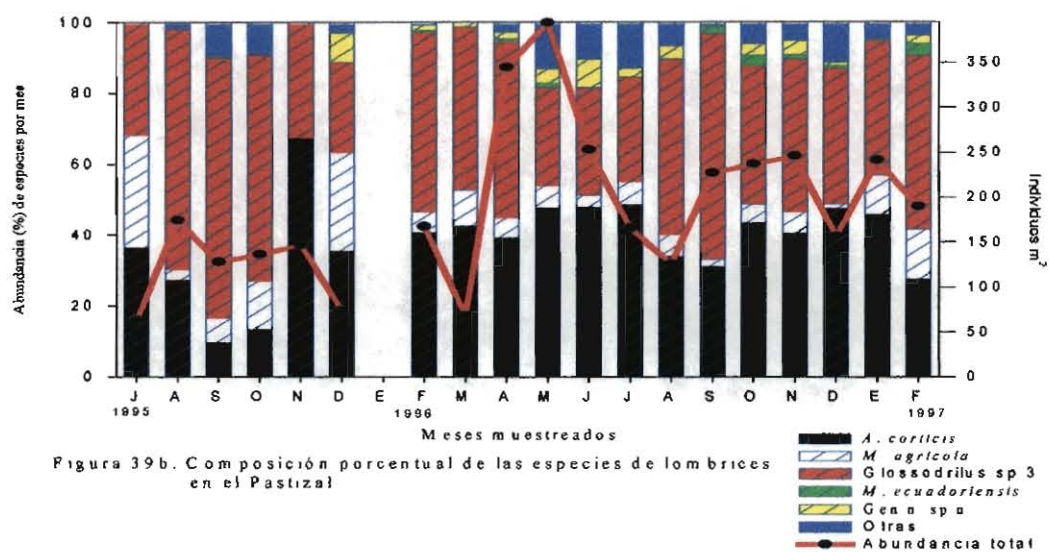
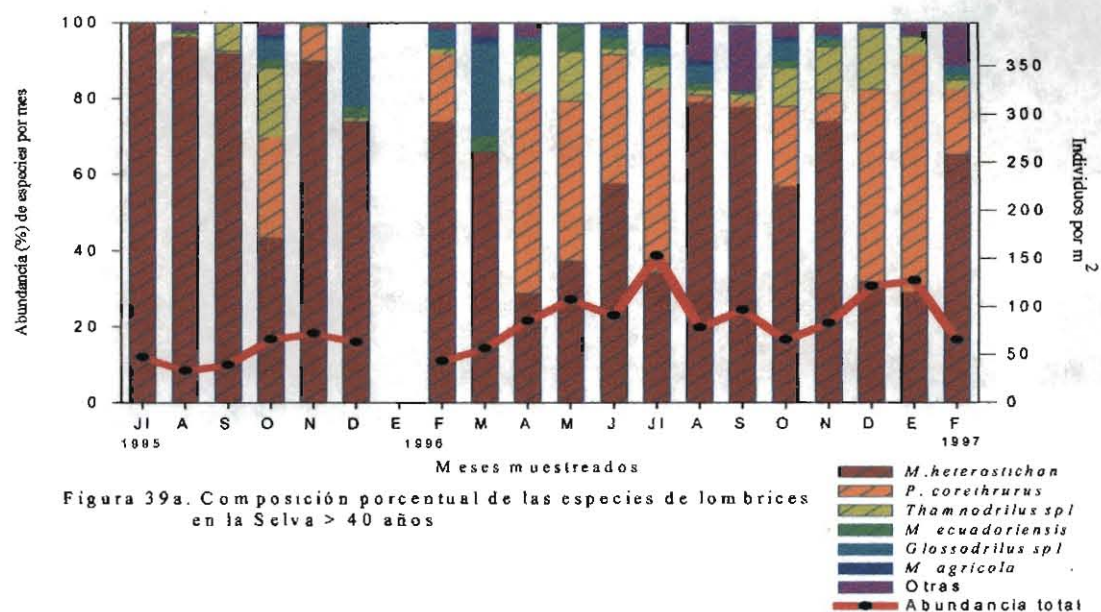


Figura 38. Fluctuación temporal por muestreo de las especies en el pastizal de P. clandestinum.
e) *M. ecuadoriensis*; f) *M. agricola*.



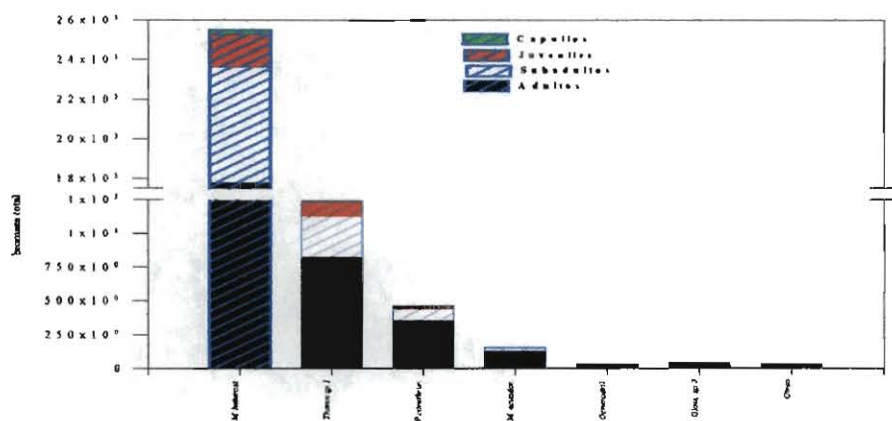


Figura 40a. Biomasa total de los estados de desarrollo de las especies de leucis en la selva >40 años.

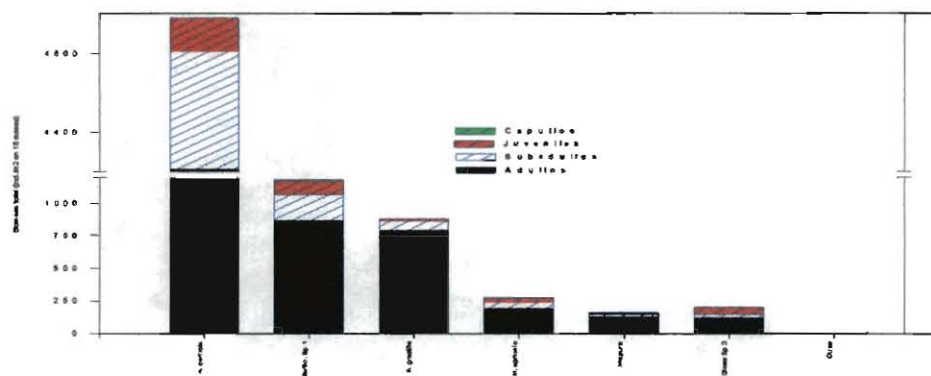
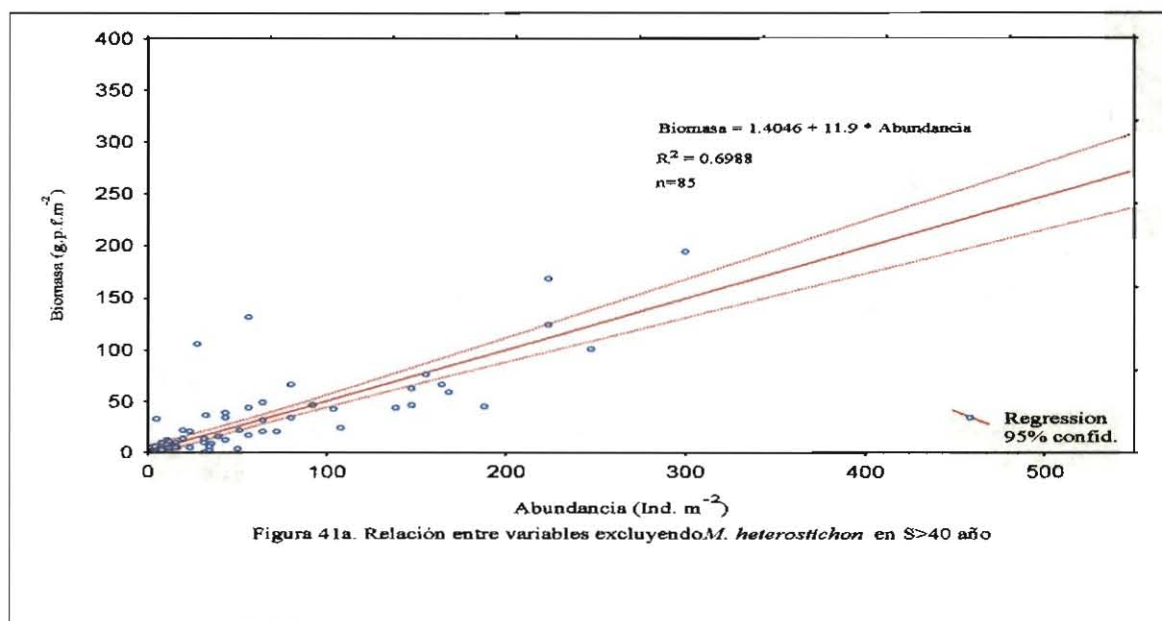
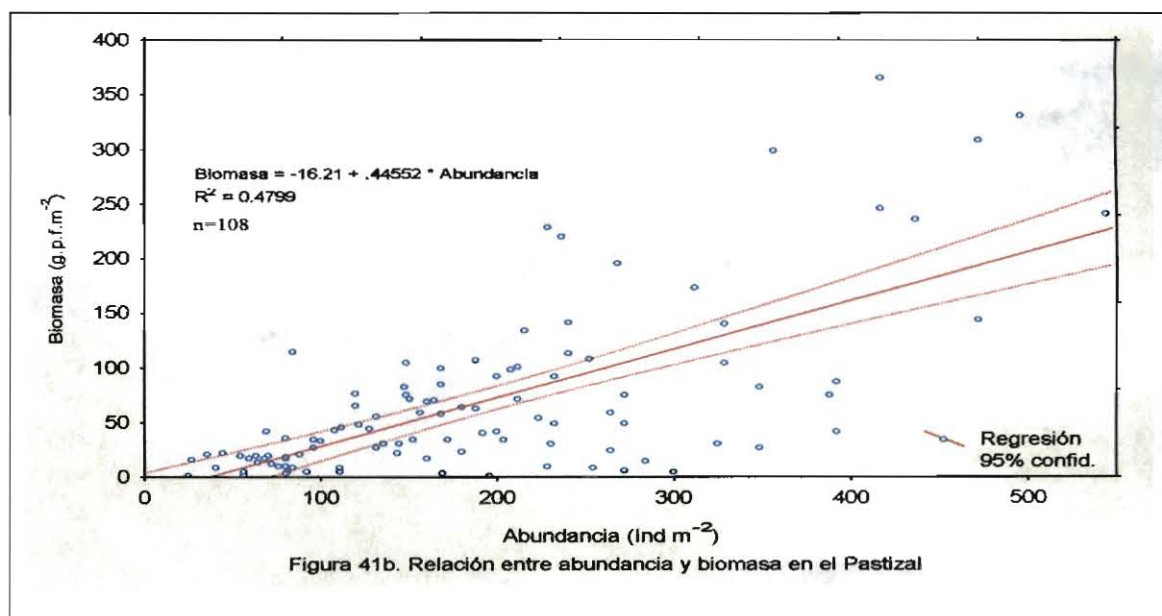


Figura 40b. Biomasa total de los estados de desarrollo de las especies de leucis en la selva >40 años.

El análisis de regresión para la relación entre abundancia y biomasa de lombrices arrojó correlaciones pobres y, sólo al eliminar capullos y la especie *M. heterostichon* en la S > 40 años, permitió asociaciones más fuertes ($r^2 = 0.69$), hecho que explicó bajo coeficiente de determinación del modelo de regresión lineal (Figuras 41a y 41b), mientras que en el Pastizal, no se incrementó por la eliminación de los capullos (0.47).

La ocurrencia de las especies en el total de submuestras varió desde 109 para *M. heterostichon* hasta 8 para *Ocnerodrilidae*. El cálculo de los índices de afinidad unidireccional (Cuadro 17), que se leen por filas y se encuentran por encima de la diagonal, mostró la baja tendencia de las especies a ocurrir asociadas entre si en la S > 40 años, debido al predominio de *M. heterostichon*; sin embargo, al leer los registros de afinidad por debajo de la diagonal se encontró que todas las especies presentaron alta asociación con *M. heterostichon*, pero bajo entre las otras especies (Cuadro 17).





Cuadro 17. Índice de afinidad unidireccional entre pares de especies en la S>40 años

Especies	<i>M. heter</i>	<i>M. agric</i>	<i>Gloss spl</i>	<i>M. ecua</i>	<i>Thamn spl</i>	<i>Pontosc</i>	<i>Perisco</i>	<i>Ocnero</i>
<i>M. heter</i>	109*	0.12	0.20	0.36	0.30	0.36	0.17	0.07
<i>M. agric</i>	1	13*	0.23	0.46	0.15	0.23	0.00	0.15
<i>Gloss spl</i>	1	0.14	22*	0.50	0.27	0.36	0.32	0.05
<i>M. ecua</i>	0.98	0.15	0.28	40*	0.35	0.40	0.28	0.10
<i>Thamn spl</i>	0.97	0.06	0.18	0.35	34*	0.41	0.26	0.12
<i>Pontosc</i>	0.95	0.07	0.20	0.40	0.34	41*	0.17	0.02
<i>Perisco</i>	0.94	0.00	0.37	0.58	0.47	0.47	19*	0.13
<i>Ocnero</i>	1	0.25	0.13	0.50	0.50	0.63	0.05	8*

* En la diagonal con negrilla los valores de presencia de las especies en el total de submuestras

- Por encima de la diagonal asociación unidireccional $S_1 \rightarrow S_2$.
- Por debajo de la diagonal asociación unidireccional $S_2 \rightarrow S_1$.

En el Pastizal este índice reflejó la afinidad de *A. corticis*, *M. agricola* y *Glossodrilus sp 2* en las dos direcciones y algunas asociaciones de éstas con otras especies por debajo de la diagonal (Cuadro 18).

Cuadro 18.. Índice de afinidad unidireccional entre pares de especies en el Pastizal

Especies	<i>A.</i>	<i>M. agric</i>	<i>Gloss Sp 2</i>	<i>M. ecua</i>	<i>Gen n sp n</i>	<i>A. graci</i>	<i>Dendroba</i>	<i>Thamn sp2</i>
<i>A. corticis</i>	92*	0.63	0.99	0.32	0.30	0.43	0.09	0.01
<i>M. agricola</i>	0.85	68*	0.97	0.21	0.35	0.28	0.15	0.01
<i>Gloss Sp 2</i>	0.87	0.97	105*	0.31	0.28	0.39	0.10	0.00
<i>M. ecuador</i>	0.85	0.41	0.97	34*	0.21	0.26	0.03	0.00
<i>Gen n sp n</i>	0.88	0.75	0.91	0.22	32*	0.28	0.03	0.03
<i>A. gracilis</i>	0.89	0.42	0.91	0.20	0.20	45*	0.0	0.02
<i>Dendroba</i>	0.73	0.91	1.0	0.09	0.09	0.0	11*	1.0
<i>Thamn</i>	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1*

* En la diagonal con negrilla los valores de presencia de las especies en el total de submuestras

- Por encima de la diagonal asociación unidireccional $S_1 \rightarrow S_2$.
- Por debajo de la diagonal asociación unidireccional $S_2 \rightarrow S_1$.

4.4.4 Diversidad, riqueza y nicho de las poblaciones

La diversidad estimada fue diferente (Selva: 1.48 y 0.38; Pastizal: 1.69 y 0.22 respectivamente) a pesar del alto volumen de muestras (111 y 108 muestreos), lo que explica las diferencias en la estructura de poblaciones, comunidades, abundancia y predominio de unas pocas y alto número de especies raras a pesar de la riqueza alta de especies para los dos sitios. Así mismo, la equitatividad fue mayor en el pastizal (0.81) que

en la Selva (0.58), lo que indica la tendencia a la igualdad de abundancia de las especies en el primer, debido al predominio de pocas especies en un ambiente de alta riqueza específica (13 vs 9).

El recambio de especies (diversidad β) para la S>40 años y el Pastizal fue de 4.9 y 2.5, con promedio de 2.7 y 3.7 respectivamente. Como se observa la capacidad buffer de la Selva es más alta, brindando a las especies mayores posibilidades de sustitución de unas con otras en el espacio, por lo tanto dos factores (heterogeneidad espacial y productividad de hojarasca) son los que inciden más en la mayor tasa de recambio y distribución de la diversidad.

4.4.5 Competencia difusa, solapamiento y dimensión de nichos

El análisis del nicho espacio temporal (índice O_{jk}) entre las especies de la S>40 años mostró que el solapamiento promedio vertical fue alto (0.86) con valores que oscilaron entre 0.42 (*M. heterostichon* y *M. ecuadoriensis*) y 0.99 (*M. agricola* y *Glossodrilus sp 1*); el solapamiento promedio temporal fue relativamente bajo (0.46) con registros entre 0.11 (*M. agricola* y *Glossodrilus sp 1*) y 0.84 (*Thamnodrilus sp 1* y *P. corethrurus*) (Cuadros 19, 20). En el Pastizal, los valores fueron superiores, 0.93 para el vertical y oscilaciones de solapamiento entre 0.76 (*Glossodrilus sp 1* y *A. gracilis*) y 1 (*A. corticis* y *A. gracilis*); el temporal (con promedio 0.85) osciló entre 0.62 (*M. agricola* y *M. ecuadoriensis*) y 1 (*A. corticis* y *Glossodrilus sp 2*) (Cuadros 21, 22).

Cuadro 19. Índice de solapamiento vertical (promedio=0.86) de las especies el S>40 años

<i>M. agricola</i>	0.57						
<i>M. ecua</i>	0.42	0.98					
<i>Glos spl</i>	0.99	0.99	0.98				
<i>Holoscolex</i>	0.84	0.88	0.76	0.87			
<i>Tham spl</i>	0.51	0.99	0.99	0.99	0.84		
<i>P. cor</i>	0.48	0.99	0.99	0.99	0.82	0.99	
<i>Periscol</i>	0.45	0.98	0.99	0.99	0.79	0.99	0.99
	<i>M. het</i>	<i>M. agr</i>	<i>M. ecua</i>	<i>Glos spl</i>	<i>Holoscolex</i>	<i>Tham spl</i>	<i>P. cor</i>

Cuadro 20. Índice de solapamiento temporal (promedio=0.49) de las especies en la S>40 años

<i>M. agricola</i>	0.64					
<i>M. ecuatoriensis</i>	0.73		0.26			
<i>Glossodrilus spl</i>	0.61		0.11	0.16		
<i>Thamnodrilus spl</i>	0.70		0.23	0.71		
<i>P. coretrurus</i>	0.57		0.40	0.65	0.16	0.85
	<i>M. heterostichon</i>	<i>M. agricola</i>	<i>M. ecuatorie</i>	<i>Glos spl</i>	<i>Tham spl</i>	

Cuadro 21. Índice de solapamiento vertical (promedio= 0.93) de las especies en el Pastizal

<i>M. agricola</i>	0.99					
<i>M. ecuatoriensis</i>	0.99	0.98				
<i>Glossodrilus spl2</i>	0.77	0.80	0.83			
<i>Gén. N. spp n</i>	0.97	0.88	0.99	0.90		
<i>A. gracilis</i>	1.0	0.99	0.99	0.76	0.82	
	<i>A. corticis</i>	<i>M. agricola</i>	<i>M. ecuatorien</i>	<i>Glos spl2</i>	<i>Gén. N. spp n</i>	

Cuadro 22. Índice de solapamiento temporal (promedio=0.85) de las especies en el Pastizal

<i>M. agricola</i>	1.0				
<i>M. ecuatoriensis</i>	0.80	0.62			
<i>Glossodrilus spl2</i>	1.0	0.99	0.82		
<i>Gén. N. spp n</i>	0.88	0.70	0.81	0.74	
	<i>A. corticis</i>	<i>M. agricola</i>	<i>M. ecuatoriensis</i>	<i>Glossodrilus spl2</i>	

4.5 RELACIONES DE LAS LOMBRICES CON ALGUNOS FACTORES DEL SUELO

4.5.1 Patrones relacionados con la variabilidad ambiental

En ambos sitios, se presentó mayor ocurrencia de lombrices en las capas superficiales del suelo, hecho que estuvo asociado con mayores contenidos de materia orgánica. En la Selva > 40 años los contenidos de materia orgánica variaron entre 2 y 7.4% en el perfil del suelo de 0 – 60 cm presentando diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$). En el Pastizal, hubo pocas raíces profundas después del estrato 0 – 20 cm, menor presencia de macroporos y cambios drásticos en los contenidos de materia orgánica con la profundidad (30-40% en 0-10 cm hasta 3-10% en 50-60 cm) ($P < 0.0001$) (Figura 42). Sin embargo, este patrón no fue claro al correlacionar la abundancia y biomasa de lombrices con C (Cuadro 23) y con la presencia de fitomasa superficial de hojas y troncos caídos sobre la superficie del monolito, se encontró que el modelo lineal explicó un bajo porcentaje de la variación total (0.35 y 0.34% respectivamente) tanto en la Selva >40 años como en el Pastizal (Figuras 43 y 44). Igual situación se presentó con las relaciones entre las variables dependientes abundancia y biomasa de lombrices con humedad de campo, N, C : N y otras características del suelo (Cuadros 24, 25)

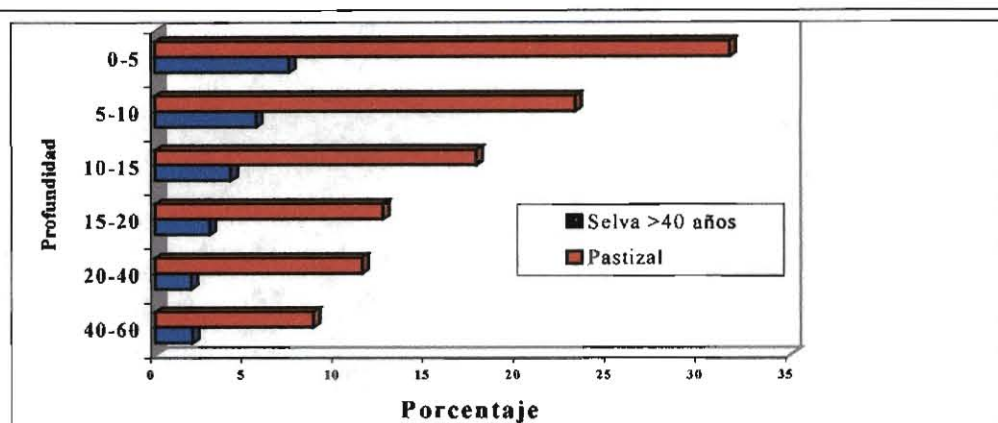


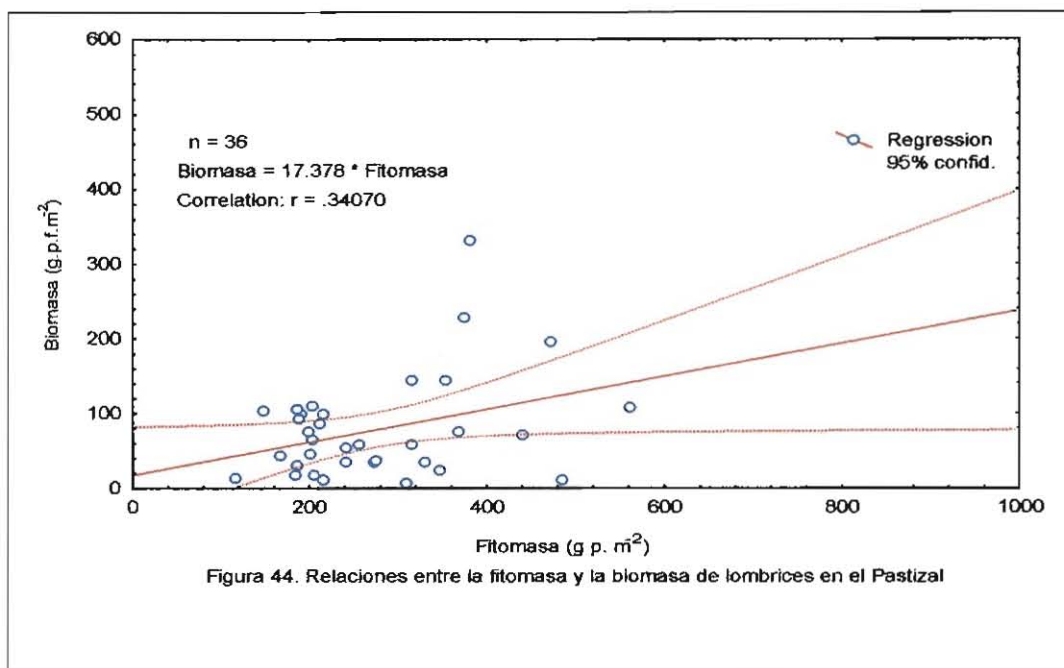
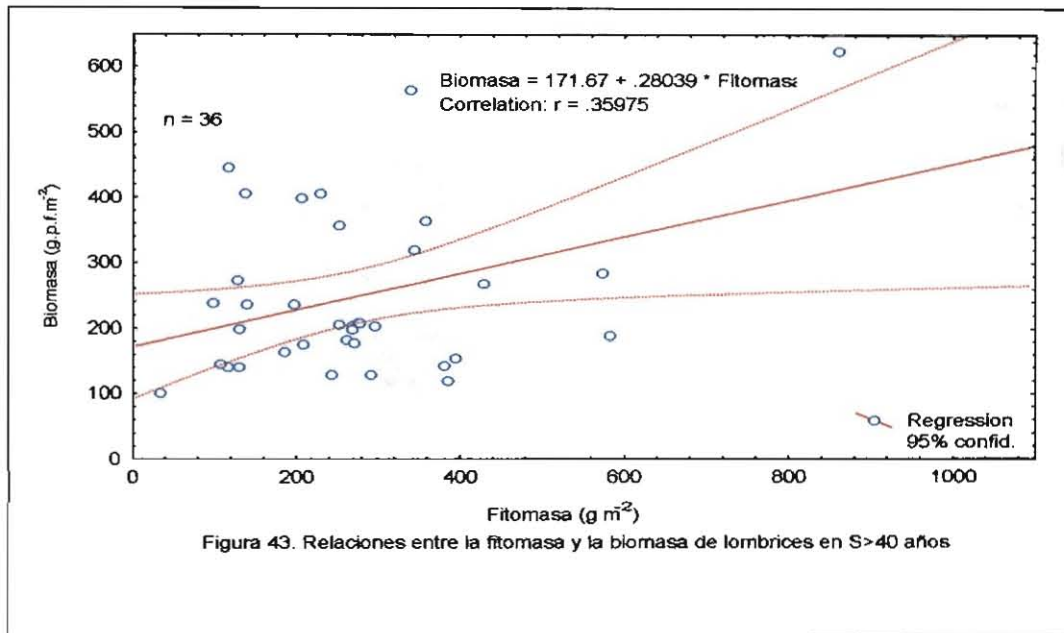
Figura 42 Variación del contenido de materia orgánica con la profundidad

Cuadro 23. Relación de la abundancia y biomasa de lombrices con algunas variables del suelo para 15 monolitos en la Selva >40 años (Correlaciones significativas a $P < 0.05$)

Variables	Promedio	Desv. Estándar	$r(X,Y)$	r^2	t	Probabilidad
ABUNDANCIA (Ind m^{-2})	107.200	70.25	1.000	1.000		
Biomasa (gp m^{-2})	218.530	71.33	-0.446	0.199	-1.796	0.096
Fitomasa (g m^{-2})	262.376	117.69	-0.119	0.014	-0.432	0.673
Humedad (v/v, %)	46.383	9.65	0.233	0.054	0.863	0.404
C (%)	2.336	0.71	0.288	0.083	1.083	0.298
N (%)	0.254	0.06	0.588	0.346	2.620	0.021
C : N	9.200	1.83	-0.287	0.082	-1.080	0.300
P (ppm)	6.860	5.98	0.194	0.037	0.712	0.489
Ca (Cmol $^{(+)} kg^{-1}$)	2.941	0.96	-0.146	0.021	-0.533	0.603
Mg (Cmol $^{(+)} kg^{-1}$)	2.266	0.96	-0.404	0.163	-1.592	0.135
Densidad aparente (g cm^{-3})	1.098	0.06	0.293	0.086	1.107	0.288
Densidad real (g cm^{-3})	2.391	0.17	-0.351	0.123	-1.350	0.200
Porosidad (%)	53.850	4.79	-0.296	0.088	-1.119	0.284
BIOMASA (g p f m^{-2})	218.530	71.33	1.000	1.000		
Fitomasa (g m^{-2})	262.376	117.69	0.271	0.074	1.016	0.328
Humedad (v/v, %)	46.383	9.65	-0.212	0.045	-0.783	0.448
C (%)	2.336	0.71	-0.381	0.145	-1.487	0.161
N (%)	0.254	0.06	-0.474	0.225	-1.943	0.074
C : N	9.200	1.83	0.008	0.000	0.028	0.978
P (%)	6.860	5.98	0.018	0.000	0.063	0.951
Ca (Cmol $^{(+)} kg^{-1}$)	2.941	0.96	0.477	0.228	1.959	0.072
Mg (Cmol $^{(+)} kg^{-1}$)	2.266	0.96	0.333	0.111	1.273	0.225
D. aparente (g cm^{-3})	1.098	0.06	-0.116	0.013	-0.421	0.681
Densidad real (g cm^{-3})	2.391	0.17	0.116	0.013	0.421	0.681
Porosidad (%)	53.850	4.79	0.109	0.012	0.396	0.699

Cuadro 24. Correlación de la abundancia y biomasa de lombrices con algunas variables del suelo
Para 15 monolitos en el Pastizal (Correlaciones significativas a $P < 0.05$)

Variables	Promedi	Desv. Estándar	r(X,Y)	r ²	t	Probabilidad
ABUNDANCIA(Ind m⁻²)	181.867	90.584	1.000	1.000		
Biomasa (g p f m ⁻²)	52.777	33.200	0.053	0.003	0.192	0.851
Fitomasa(g m ⁻²)	55.832	3.094	-0.567	0.321	-2.481	0.028
Humedad (v/v %)	272.871	109.931	0.418	0.175	1.660	0.121
C (%)	9.178	2.556	-0.027	0.001	-0.098	0.923
N (%)	1.819	3.810	-0.055	0.003	-0.198	0.846
C : N	0.936	0.800	-0.135	0.018	-0.493	0.630
P (ppm)	0.956	0.753	-0.088	0.008	-0.318	0.756
Al (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	0.315	0.154	-0.203	0.041	-0.747	0.468
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	0.162	0.051	-0.289	0.084	-1.089	0.296
D. aparente (g cm ⁻³)	0.447	0.017	0.614	0.377	2.802	0.015
Porosidad (%)	79.195	1.455	0.237	0.056	0.879	0.395
BIOMASA (g p f m⁻²)	52.777	33.200	1.000	1.000		
Fitomasa (g m ⁻²)	55.832	3.094	0.101	0.010	0.367	0.719
Humedad (v/v,%)	272.871	109.931	0.236	0.056	0.875	0.397
C (%)	9.178	2.556	0.148	0.022	0.541	0.597
N (%)	1.819	3.810	0.031	0.001	0.113	0.912
C : N	0.936	0.800	0.075	0.006	0.270	0.792
P (ppm)	0.956	0.753	0.373	0.139	1.450	0.171
Al (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	0.315	0.154	0.387	0.150	1.515	0.154
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	0.162	0.051	0.173	0.030	0.633	0.538
D. aparente (g cm ⁻³)	0.447	0.017	-0.027	0.001	-0.098	0.924
Porosidad (%)	79.195	1.455	0.054	0.003	0.197	0.847



El análisis de agrupamiento de la biomasa de lombrices con otras variables del suelo no mostró tendencia clara en el patrón de distribución, probablemente se trata de sistemas complejos que requieran del uso de otro tipo de herramientas para el análisis de los datos, o

haya que generar otros modelos que interpreten la variabilidad y los patrones de distribución de las variables del suelo.

Cuadro 25. Análisis de conglomerados para biomasa y algunas características del suelo para 15 monolitos en dos usos de la tierra

Sitio	Selva > 40 años		Pastizal		
Agrupación	1	2	1	2	3
N	13	2	2	9	4
Biomasa (g p f m ⁻²)	238.8 (1.0)	139.3 (1.0)	51.1 (30.9)	44.3 (43.6)	89.1 (27.0)
Humedad (% v/v)	43.7 (8.6)	58.9 (13.3)	52.5 (2.2)	58.1 (2.4)	53.7 (2.7)
Fitomasa (g p m ⁻²)	263.8 (134.2)	320.6 (120.2)	501.2 (86.5)	219.1 (33.0)	328.8 (18.7)
Porosidad (%)	55.7 (4.7)	51.0 (3.5)	79.5 (1.9)	79.3 (0.6)	79.0 (1.9)
C (%)	2.0 (0.3)	3.6 (0.3)	9.3 (1.8)	9.1 (3.7)	9.0 (0.8)
N (%)	0.2 (0.01)	0.4 (0.1)	0.7 (0.2)	0.8 (0.3)	0.8 (0.1)
C/N	8.6 (2.1)	10.2 (0.8)	12.7 (1.0)	11.7 (2.3)	11.6 (2.3)
P (ppm)	6.2 (6.7)	8.7 (5.2)	0.8 (0.2)	2.9 (5.6)	0.9 (0.7)
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	3.4 (0.5)	1.1 (0.2)	1.6 (1.7)	1.1 (0.6)	0.7 (0.6)

Entre paréntesis desviación estándar

4.5.2 Relaciones de las lombrices con algunas propiedades del suelo

Las especies estudiadas en los dos tipos de uso de la tierra se caracterizaron por sus pocas deposiciones de turrículos visibles sobre la superficie del suelo; sólo en ocasiones *M. heterostichon*, que construye galerías subhorizontales en la S >40 años, y *Gen. Nuevo sp n*,

con galerías verticales en el Pastizal colocan sus heces durante la temporada de lluvias, las cuales a su paso por la galería las utiliza como punto de deposición. Además, *M. heterostichon*, construye cámaras para entrar en diapausa durante la temporada seca, las cuales son de tamaño variable, elongado (2 x 3, 3 x 4, 4 x 5 cm) en función de la longitud y del diámetro del individuo, con estructura globular; esta especie también construye cámaras esféricas para poner sus capullos que miden entre 2 x 2 y 1.5 x 2 cm y que se encuentran a partir de 20 cm de profundidad. Los turrículos de *Gen. Nuevo sp n* son pequeños, de forma granular agregada y con tamaño variable.

La comparación entre las cámaras de diapausa de *M. heterostichon* tomadas en el estrato 20 – 30 cm y los agregados del suelo muestreados entre 0 y 60 cm de profundidad de la Selva > 40 años mostró que el suelo ingerido por la lombriz presentó mayor estabilidad ($P < 0.005$) y predominio de agregados >2 mm (90.3 vs 73.4% a 0 – 10 cm) (Figura 45); así mismo, el diámetro promedio de agregados del estrato 0 – 10 cm, que es donde se encuentran los agregados más grandes, fue superior en las cámaras de diapausa (2.7 mm vs 2.4 mm).

El contenido de N de las cámaras de diapausa de *M. heterostichon*, colectadas en la capa 20 – 30 cm de profundidad, fue menor que el del suelo no ingerido de la Selva >40 años de las capas 0 –10 y 20 –30 cm. El contenido de C fue mayor en 0 –10 (4.59) que en las heces de 20 – 30 cm (3.26) y la capa 20 – 30 (2.39) (Cuadro 20) (Figura 46). En el Pastizal el contenido de N del suelo no ingerido y las heces de la especie *Gen. Nuevo sp nueva* osciló entre 0.82 y 1.57, siendo mayor en las heces colectadas sobre la superficie del suelo (Figura

47). Igual tendencia se presentó al comparar los contenidos de C de las dos capas del suelo (17.178 % y 9.88 respectivamente) con los turriculos (18 %) (Cuadro 21, Figura 47).

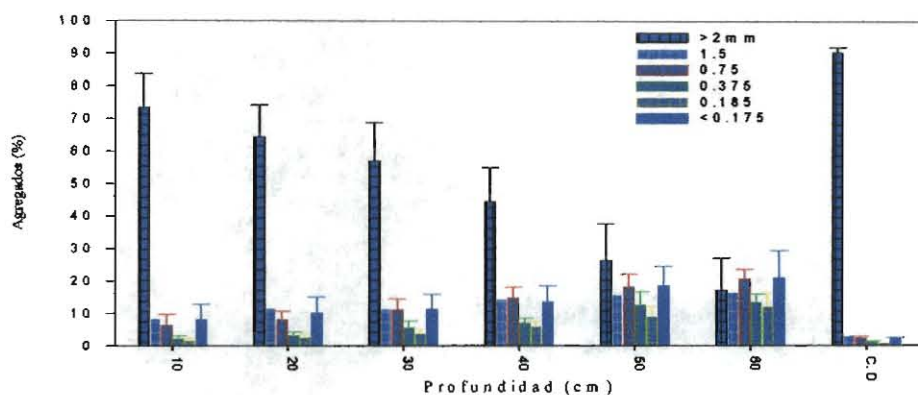


Figura 45 Comparación en tamaños de clase de los agregados del suelo y las cámaras de diapausa de *M. heterostichon* extraídas del estrato 20 - 30 cm

La relación C:N y el contenido de P de las heces de *M. heterostichon* fue superior al del estrato 0 – 10 y muy superior a 20 – 30 cm. El contenido del resto de los elementos analizados (Ca, Mg, K y Al) fue mayor en la capa superficial que en heces y en 20 – 30 (Cuadro 26). En el Pastizal la relación C : N y el contenido de Al fueron superiores en el estrato 0 – 10 que en los 10 – 20 y heces mientras que P, Ca, Mg, y K fueron mayores en las heces de *Gen. Nuevo sp nueva* que en los otros estratos (Cuadro 27). Esta especie probablemente tuvo mayor capacidad de seleccionar partículas orgánicas pues se observó incremento del contenido de C en sus turriculos mientras que en *M. heterostichon* descendió.

Cuadro 26 Composición química del suelo de los alrededores y de las heces de *M. heterostichon* colectados en monolitos de S>40 años

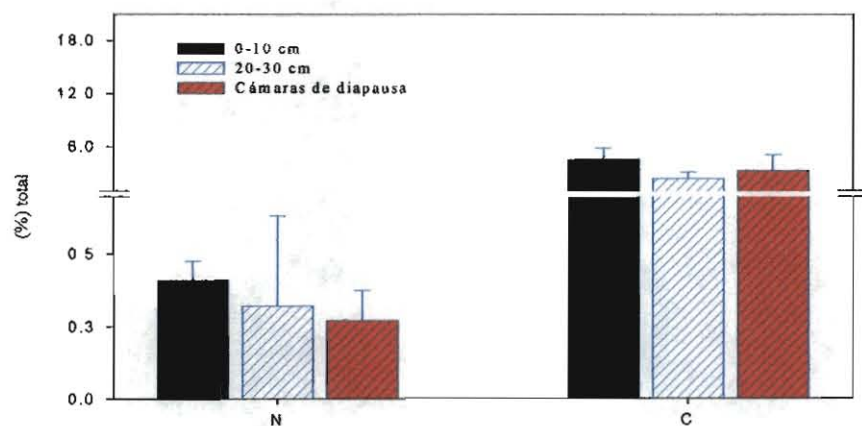
Características	0-10	D. E.	20-30	D. E.	Heces 20-30 cm	D. E.
%N	0.41	0.07	0.32	0.31	0.27	0.10
%C	4.59	1.29	2.39	0.73	3.26	1.84
C : N	11.30	2.76	8.76	3.03	11.56	3.40
P ppm	10.82	9.65	5.32	4.89	14.04	11.46
Ca	5.15	1.98	2.75	1.11	2.45	0.97
Mg	3.55	1.22	2.38	1.03	2.38	0.97
K	0.43	0.21	0.23	0.10	0.23	0.19
Al	0.90	0.98	1.15	1.16	0.88	0.72

D.E. = Desviación estándar

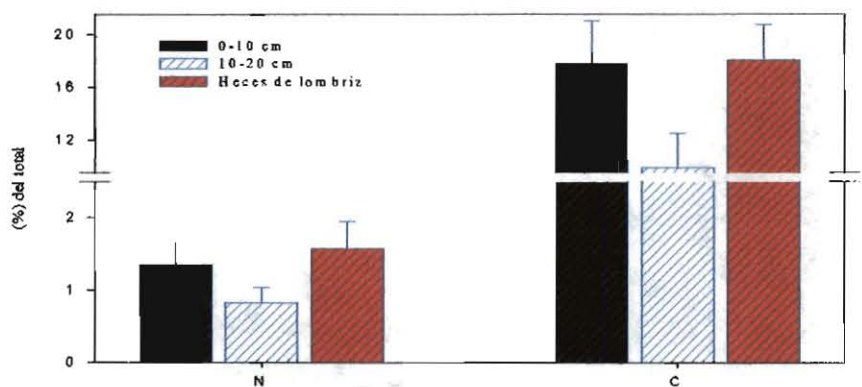
Cuadro 27 Composición química del suelo de los alrededores y las heces de *Gen. Nuevo sp* *n* colectados en monolitos del Pastizal

Característica	0-10 cm	D.E.	10-20 cm	D.E.	Heces 0-10 cm	D.E.
%N	1.35	0.30	0.82	0.21	1.57	0.37
%C	17.78	3.21	9.88	2.60	18.02	2.69
C : N	13.31	3.18	12.00	1.64	11.67	2.93
P ppm	2.94	1.87	0.90	1.32	5.39	3.00
Ca	2.51	1.98	0.95	0.78	2.99	2.43
Mg	1.01	0.79	0.30	0.19	1.19	1.11
K	0.40	0.19	0.16	0.09	0.48	0.23
Al	1.22	0.69	1.10	0.80	1.18	0.66

D.E. = Desviación estándar



Gráfica 46 . Comparación del contenido promedio de N y C de muestras de suelo de dos profundidades y las heces (cámaras de diapausa) colectadas a 20-30 cm de *M. heterostichon*



Gráfica 47 Comparación del contenido promedio de N y C de muestras de suelo de dos profundidades (0-10, 10-20) y las heces (cámaras de diapausa) colectadas en 0-10 cm de *Gen Nuevo sp Nueva*.

5. DISCUSIÓN

La macrofauna en la subcuenca del río Cabuyal presentó 20 especies de lombrices, distribuidas en seis familias a lo largo de 42 km y en 650 m de ascenso en el nivel del mar. Se trata de la primera contribución para los Andes suramericanos que se suma a estudios realizados en ambientes tropicales de pastizales de la India (Dash y Patra, 1977), sabanas de Costa de Marfil (Lavelle, 1978), pastizales y otros sistemas de la India (Senapati, 1980), selvas y pastizales de México (Lavelle, et al, 1981), Fragoso y Lavelle (1987, 1992), sistemas de uso de la tierra en Colombia (Feijoo, 1993), pastizales y otros sistemas de la India (Blanchart y Julka, 1997), sabanas naturales y pastos introducidos de Carimagua, Colombia (Jiménez, 1999) y en selvas y plantaciones de policultivos en la Amazonía brasileña (Rombke et al, 1999).

El cambio en el tipo de uso de la tierra, afectó la estructura y composición de las comunidades, por ejemplo, la dedicación del suelo a actividades de crianza de ganado (13 – 20 unidades taxonómicas) o a sistemas de cultivo (18 – 31 ut) redujo drásticamente la diversidad de la macrofauna (Selva Secundaria: 98 ut). Así mismo, las termitas, en su mayoría xilófagas, no soportaron la tala de la vegetación, esporádicamente aparecieron algunas rizófagas en los pastizales de *Pennisetum* y *Melinis*, situación contraria con lo

encontrado en Carimagua (Decaens, 1994). Al modificarse las coberturas aérea y superficial del suelo, se simplifican las fuentes alimentarias y la estructura del detrito proceso que se manifiesta como reducción en la riqueza de especies, densidad y biomasa. El estudio logró diferenciar la intensidad del estrés para comunidades del suelo, en los sistemas agrícolas: en *Brachiaria*, Yuca asociada y Pino se redujo más la riqueza de especies que en Café tradicional y los pastizales de *Melinis* y *Pennisetum*. Además, se percibió la fragilidad y la capacidad de regeneración de la selva subandina, la cual fue sensible a las quemadas (Selva > 40 años), o permitió la recolonización de vegetación (Selva de 40 años). La conversión de sistemas naturales en sistemas intensivos de producción, reducen la biodiversidad y favorecen la desaparición de grupos funcionales claves de descomponedores (ambiente árido con grandes fluctuaciones en la temperatura y humedad del suelo) de productores (estrechamiento del espectro de la calidad de los recursos; lixiviación y erosión).

La sostenibilidad de la Yuca Asociada, a pesar de recibir altas dosis de insumos orgánicos e inorgánicos, fue precaria por que generalmente se siembran en alta montaña, con pendientes superiores al 20%, sin protección contra la erosión y escorrentía. En *Melinis* y *Brachiaria* ocurre la misma situación, pero al sistema no entran insumos. Las poblaciones de macrofauna en la Plantación de *Pinus* fueron muy bajas, a pesar de la abundante cobertura y sombrero que aportan la acículas, además el sistema careció de otras especies vegetales en diferentes estratos. En Sri Lanka en las plantaciones de *Pinus patula*, y *P. caribaea* var. *hondurensis*, se inmoviliza la actividad faunística y nutrientes, se

incrementa la erosión, se impide la germinación y regeneración de otras especies vegetales (Perera, 1992).

Los suelos de la subcuenca del río Cabuyal, se caracterizaron por la reacción ácida, baja densidad aparente, alta porosidad, humedad y retención de agua a pF de 4.2 y predominio de agregados > 2 mm. Estas características estuvieron asociadas con altos contenidos de arcilla y materia orgánica, los cuales forman complejos arcillo alofánicos que permiten la alta cohesión de los agregados, fijan los cationes y aniones sobre sus sitios de cambio y retienen el agua (Henao et al, 1998). En Andisoles del Cabuyal dominó de material amorfo en la fracción arcillosa y alto contenido de materia orgánica en el perfil y drástica disminución con la profundidad. El efecto agregante de la materia orgánica es el resultado de la interacción de esta con metales (quelatos), Calcio o Hidrógeno (Gavande, 1972), además, la acción cementante de los materiales orgánicos depende de su cantidad total, composición o de los productos resultantes de la humificación (IGAC 1990); estos últimos constituyen los principales agentes cementantes y de conservación de la estructura de los suelos de alta montaña de los Andes; igualmente, la acción orgánica supera la de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, así estos sean tan importantes para la agregación de otros tipos de suelos (Baver, 1972).

La fuente de acidez que presentan estos suelos radica en la alta presencia de componentes orgánicos e inorgánicos. Los óxidos minerales (alófana) y las combinaciones de arcilla con óxidos minerales son susceptibles de originar acidez, los cuales a bajo pH se encuentran

cargados positivamente, hecho que explica la baja saturación en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y otros cationes que son fácilmente lixiviados del suelo por tener cargas del mismo signo que los materiales amorfos (Luna, 1972). La dinámica de la materia orgánica es crítica por su capacidad reguladora de la circulación de nutrimentos, mejora la estructura de los suelos y por su papel biológico para las cadenas alimentarias; además, controla las interacciones entre los procesos del suelo y la producción de plantas y explica el por qué ciertos sistemas de manejo del suelo mejoraron mientras que otros presentaron graves síntomas de degradación cuando el suelo apareció desprotegido. Los suelos estudiados contenían alta materia orgánica pero baja fertilidad como para permitir la introducción de variedades vegetales comerciales, debido al fuerte amarre y a la protección química de las partículas minerales; lo que limita su descomposición y circulación de nutrimentos, razón por la cual la estructura del suelo no es necesariamente importante para la dinámica de la materia orgánica en estos suelos (Martini y Luzuriaga, 1989; Gijsman y Sanz, 1998). El porcentaje de carbono orgánico es elevado en los primeros 10 cm, lo cual está asociado con el tipo de vegetación, altura sobre el nivel del mar y condiciones climáticas imperantes. Al comparar los valores de materia orgánica con la altura sobre el nivel del mar se cumplió la relación altitud - acumulación aunque, en ocasiones, no se verifica para ciertos ambientes, como lo demostraron Legarda et al (1973); por otro lado, en sitios intervenidos disminuyeron drásticamente los contenidos, fenómeno que permitió destacar al C como indicador de cambio en los sistemas. El nitrógeno total fue alto y disminuyó con la profundidad, lo que indica la escasa mineralización debida a los contenidos de alófana, entre los que se ha encontrado correlación significativa. Las relaciones C : N fueron amplias, lo que implica una menor

tasa de mineralización y por lo tanto permite la acumulación de C en estos suelos. Las bases intercambiables son bajas, lo cual se explica por la capacidad que tiene la alófana de retener sales, particularmente las de amonio y potasio. Es decir que la capacidad de cambio de estos depende más de la materia orgánica que de las arcillas, puesto que abundan materiales amorfos volcánicos que varían de acuerdo con la distancia y el tipo de volcán y poseen una relativamente elevada capacidad de cambio, posiblemente no demostrado por que los sitios reactivos de la alófana estarían bloqueados por los materiales orgánicos (Besoain, 1970; Legarda et al, 1973; Zapata, 2000, Comunicación personal).

En los suelos del Cauca, la materia orgánica forma complejos arcillo-húmicos muy resistentes al ataque de los microorganismos del suelo, lo que hace que se acumulen en los horizontes superiores, ocasionando alta estabilidad de los agregados. Los Inceptisoles presentaron alta agregación y estabilidad estructural lo que, a su vez, estuvo estrechamente relacionado con la vegetación y la gran capacidad de cohesión de la materia orgánica.

Los parámetros físicos sólo presentaron variación significativa a 10 cm de profundidad, con tendencia a estabilizarse; sin embargo, las características químicas presentaron alta variabilidad espacial y dependiendo del tipo de elemento, será necesario limitar las distancias en el plan de muestreo. En Cabuyal, se recomienda muestrear en un radio de 0-10 m para calcio, aluminio, carbono orgánico, saturación de bases y saturación de aluminio; para materia orgánica de 10-20 m; para magnesio y manganeso de 20 – 40 m (Buitrago, 1995).

Los cambios en la densidad de la vegetación en la subcuenca del río Cabuyal afectaron la presencia de las especies en los sitios; por ejemplo, algunas lombrices nativas (*M. ecuadoriensis*, *M. heterostichon*, *M. agricola*, *Glososdrilus sp 1*, *G. sp2* y *Periscolex sp*) soportaron el cambio del ambiente junto a otras exóticas (*A. corticis*, *A. gracilis*, *D. octaedra* y *P. corethrurus*) colonizadoras de ambientes alterados. Fragoso (1989) luego de estudiar las lombrices en zonas no perturbadas de la "Reserva El Cielo", México, postuló, que "la eliminación de las especies endémicas se debió a la alteración del hábitat y no al desplazamiento competitivo por parte de las peregrinas". Lavelle (1988) anota que al establecer pastizales se agota la diversidad de las especies endémicas aunque aumentan los valores de biomasa o densidad por la presencia de especies cosmopolitas; hecho que en el estudio se comprobó en los cultivo de Yuca y Café con la presencia de *P. corethrurus*. En el grupo de los coleópteros (*Dichotomius aff. septentrionalis*, *Heterogomphus chevrolati*, *Oxisternom conspicillatum* y *Passalus sp*) también se detectaron estas especies en ambientes altamente alterados que pueden ser útiles como señales tempranas de degradación. Además, en suelos con aplicación de insumos y labranza con tracción animal como en la Yuca, o erodados, como *Melinis*, se encontró alta proporción de coleópteros plagas (chizas blancas de la familia Scarabeidae). Por consiguiente, la estructura y composición de los macroinvertebrados, presentó diferencias entre medios con vegetación diversa, cobertura superficial y usos herbáceos diversos. En sitios con cobertura como Selvas, Barbecho y Café Tradicional predominó la macrofauna epígea con alta diversidad;

mientras que en los herbáceos, los endógeos fueron mayoría en la rizosfera de *B. humidicola* y *M. minutiflora*.

Al extrapolar a 1m² los valores de densidad y biomasa de macrofauna, para comparar con otros ambientes tropicales, los de la Selva Secundaria superaron a los de México (Lavelle *et al.*, 1981; Lavelle y Kohlmann, 1984), Nigeria (Madge, 1969), Sarawak (Collins, 1980), Perú (Lavelle y Pashanasi, 1989) y Carimagua, Colombia (Decaens *et al.*, 1994) y en algunos casos los valores fueron hasta siete veces más altos (Cuadro 28). Situación similar se observó con la abundancia y biomasa de lombrices, sólo el pastizal mejorado en el Perú se aproximó o superó los valores del Cabuyal (Cuadro 28). En la mayoría de las localidades y sistemas evaluados (Café Tradicional, Yuca Asociada y *Brachiaria humidicola* en Cabuyal, Colombia; Pastizal Tradicional y mejorados del Perú), la abundancia y biomasa altas se debieron a la presencia de *P. corethrurus*, de gran habilidad para colonizar ambientes altamente degradados (Lavelle *et al.*, 1994).

Las condiciones de irregularidad de las cadenas montañosas, las variaciones en el tipo de vegetación, la alta variabilidad climática, y los cambios en propiedades físicas y químicas del suelo, han favorecido la especiación regional en el Cabuyal; la riqueza de especies en la Selva >40 años (13) y el Pastizal (9), se puede considerar como alta en relación con otros eco y agrosistemas tropicales y de zona templada, cuyos registros fluctúan entre 1 y 17

Cuadro 28. Densidad y biomasa de la macrofauna del suelo y lombrices de diferentes localidades muestreadas con la metodología TSBF

Sitio	Tipo de vegetación	Macrofauna			Lombrices de tierra	
		Biomasa	Densidad	Referencia	Biomasa	Densidad
Colombia	Selva Secundaria	98.6	6790	Este estudio	12.3	210
Colombia	<i>Pinus patula</i>	3.2	870	Este estudio	0.13	29
Colombia	Cultivo Café	115.7	3352	Este estudio	92	498
Colombia	Yuca Asociada	78.9	1187	Este estudio	63.8	637
Colombia	Bosques de galería	13.6	4294	Decaens et al, 1994	4.7	251
Costa de Marfil	Selva Húmeda Tropical	74.2	5747	Gilot et al, 1995	52.3	171.2
Nigeria	Selva Húmeda Tropical	16.4	3119	Madge, 1969	10.2	34
México	Selva Húmeda Tropical	16.4-18.9	888-3011	Lavelle et al, 1984	9.8-10.7	8-132
Perú	Selva Húmeda Tropical	24.1-53.9	4099-4303	Lavelle et al, 1989	11.9-28.2	85-120
Sarawak	Selva Húmeda Tropical	2.4-6.8	663-2579	Collins, 1980	0.4-1	24-42
Colombia	Sabana	15.3	1830	Decaens, 1994	4.8	157
Costa de Marfil	Sabana	29.7-84.8	2015-10905	Lavelle, 1983;1992	17-48.6	188-400
Colombia	Pastizal tradicional	8-16.8	698-2029	Decaens et al, 1994	4.5-13.8	32-192
Perú	Pastizal tradicional	82.3-121.2	1768-2347	Lavelle et al, 1989	78-116.4	474-573
Colombia	Pastizal mejorado	28.8-62.5	1541-2267	Decaens et al, 1994	22.9-51.1	139-213
Perú	Pastizal mejorado	110.9-159.2	922-1546	Lavelle et al, 1989	103.2-153	546-740
Colombia	<i>B. humidicola</i>	73.4	1965	Este estudio	57.2	363
Colombia	<i>P. clandestinum</i>	67.9	2507	Este estudio	56.6	438
Colombia	Cultivo altos insumos	3.2-4.3	429-592	Decaens et al, 1994	0.5-2.3	18-27
Perú	Cultivo altos insumos	3.1	730	Lavelle et al, 1989	1.5	14

(Nemeth, 1981; Lavelle y Fragoso, 1992; Fragoso, 1993; Fragoso y Lavelle, 1995; Lavelle, 1998; Jiménez, 1999). Esta diversidad local es el producto de la heterogeneidad microambiental la cual, al parecer, es la clave para definir el funcionamiento de la comunidad, donde factores como la humedad, temperatura del suelo y la riqueza de los nutrimentos no fluctúan de manera extrema, pues se trata de ambientes relativamente estables donde el efecto antrópico no ejerce alta presión. La productividad probablemente está influida por la diversidad vegetal y de hojarasca, a la mayor cantidad de nichos disponibles para la coexistencia de especies de lombrices, las que quizás permiten la adaptación a diferentes tasas de descomposición y “calidad” de las hojas.

La diversidad y distribución de las especies de lombrices probablemente depende más de la heterogeneidad espacial; sin embargo, si la heterogeneidad espacial depende, en gran medida, de la hojarasca, y en el caso de la Selva es probable que hojas de diversos árboles y arbustos entren al sistema en distintas épocas del año, por lo tanto la interacción entre la heterogeneidad espacial y temporal puede estar afectando también la diversidad.

El análisis de los indicadores del patrón de distribución espacial, mostró que las poblaciones de lombrices aparecen (dentro del escenario de cada sitio) de forma agregada o en manchas, $S^2 >$ que el promedio de la abundancia y biomasa de la población, pero, a la vez, presentar un plan de muestreos -basado en las leyes de Taylor e Iwao y los modelos de Kuno y Green- que de comprobarse, podrá ser una herramienta de utilidad en la comparación de usos de la tierra y para explorar tamaños de muestra cuando se conoce muy

poco de las comunidades de lombrices con el fin de generar índices o indicadores de la calidad del suelo.

Los índices de biomasa y abundancia agruparon en seis rangos la variabilidad total y por medio de ellos se logró identificar el patrón de agrupación de los tamaños de clase con diferencias significativas. La abundancia, por ejemplo, en la Selva > 40 años y en el Pastizal mostró alto número de monolitos que presentaron valores por debajo del promedio del mes. Esto permitirá en el futuro estimar de manera rápida las tendencias en la distribución de lombrices para recomendar estudios relacionados con la interacciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas para determinar factores que inciden en la agregación, a la vez que permita construir índices de la calidad del suelo. Los índices también permitirán orientar investigaciones relacionadas con la dinámica de los parches de lombrices que contienen alta o baja abundancia o biomasa, a pesar que en algunos trabajos se encontró que los parches de lombrices fueron independientes de profundidad, los contenidos en arcillas o de carbono del suelo (Lavelle et 1998). Este hallazgo permitirá en el futuro adelantar estudios tendientes a determinar las causas de la agregación espacial y temporal, y discutir el cambio de las especies y su afinidad para aparecer agrupadas o no. Esto sugiere ser prometedor para desarrollar una escala común para monitorear la calidad del suelo en diversos usos de la tierra y a diferentes escalas del paisaje; además, muestra la importancia que pueden tener en el futuro para relacionar parámetros dinámicos con la función y los procesos del suelo como filtro ambiental a pequeña y gran escala. Esto es contrario a lo que ocurre con los índices de diversidad, que a menudo se usan como medidores del cambio en la estructura de comunidades pero que no tienen capacidad de

predicción o estimación de la variabilidad (Curry y Good, 1992). Algunas medidas no paramétricas se agruparon en dos categorías: 1) las que estiman la riqueza de especies y 2) la heterogeneidad. Las que estiman riqueza tienen el problema que la determinación se realiza basándose en la cantidad de especies, en el número de individuos o en el área y sus valores son dependientes del tamaño de la muestra. Las que estiman la heterogeneidad, cuantifican la diversidad como una medida de la estructura de la comunidad, en función de la riqueza y la abundancia relativa de las especies. Por lo tanto, son fórmulas matemáticas que definen la manera en que se relacionan estas dos variables y, por lo tanto, los índices que se construyen dependen del peso en la relación que le da cada autor que propone el índice. Además, hay índices que son sensibles a los cambios en las especies raras, mientras que otros solo varían si hay cambios en las especies abundantes. Así mismo, la selección del índice lleva a dar mayor peso a las especies abundantes, pues son las que identifican a la comunidad, sin embargo, si el enfoque es más sobre conservación e impacto ambiental se debería escoger índices que sean sensibles a los cambios en las especies raras. Otro inconveniente son las comparaciones de tamaños de muestras desiguales, pero el índice de abundancia y biomasa agrupa las comunidades y omite las diferencias entre especies raras y abundantes o tamaños de muestra desiguales.

El análisis del nicho espacio temporal para la abundancia entre las especies mostró alto solapamiento temporal en el Pastizal y bajo para la S >40 años comparado con estudios llevados a cabo en las sabanas de Lamto (0.9), las selvas de Chajul (0.71) y las sabanas naturales y pastizales de Carimagua. En la S >40 años se notó la marcada variación temporal con especies que aparecen y desaparecen y otras que comparten el nicho sin una

clara relación con la precipitación y humedad del suelo, mientras que en el Pastizal el mayor solapamiento reflejó una respuesta adaptativa semejante en la mayoría de las especies ante los cambios de temporada (Cuadro 29). La dimensión vertical arrojó los solapamientos altos en $S > 40$ años y el Pastizal comparados con los de otras regiones, pero no muy diferente de los Tuxtlas y del pastizal de Carimagua; esto indica la tendencia de las poblaciones a utilizar el mantillo y los primeros 20 cm del suelo, además, en pocas ocasiones la humedad es limitante para la colonización de las especies debido a que frecuentemente se presentan precipitaciones por encima de los 1800 mm (Cuadro 29).

La mayor proporción de epígeas en Cabuyal (58.8%) coincidió con los registros de Lavelle y Pashanasi (1988) para comunidades de lombrices de Yurimaguas, Perú, 64.1% para epígeas y 30.7% para mesohúmicas; y Feijoo (1993; 1994), 63.3 y 23.3%. Por el contrario, se distancian de la selva lluviosa de Chiapas, México, 80% mesohúmicas (Fragoso y Lavelle, 1987) y de Carimagua, 83% de endógeas, en las sabanas naturales y 87.9 anécicas, 12 endógeas en los pastizales mejorados (Jiménez, 1999).

No se encontraron especies anécicas en los dos sitios, algunos estudios concuerdan en reconocer la baja participación de las anécicas en los ambientes tropicales (Lavelle, 1979; Lee, 1985; Feijoo, 1993); sin embargo, Nemeth (1981), observó el dominio de epígeas y anécicas en San Carlos del Río Negro, Cuenca del Amazonas, Venezuela.

Cuadro 29. Solapamiento de nicho de diferentes poblaciones tropicales de lombrices

Localidad	U. T.	Indice O_{jk} de Pianka			Referencia
		Temporal	Vertical	Horizontal	
Lamto, Costa de Marfil	3	0.90	0.47	0.69	Lavelle et al, 1980
San Carlos, Venezuela	3	-	0.50	0.70	Nemeth, 1981
Chajul, México	1	0.71	0.47	0.51	Fragoso, 1985
Los Tuxtlas, México	1		0.75		Fragoso, 1993
Carimagua, Colombia	2	0.42	0.57	-	Jiménez, 1999
Cabuyal, Colombia	2	0.49	0.86		Este estudio

U.T. = Usos de tierra

Las especies endógeas tuvieron patrones de migración vertical, durante las lluvias se mueven hacia las capas superiores y en la temporada seca profundizan en el perfil del suelo, hecho que coincide con lo anotado para las comunidades de lombrices de Chajul, México (Fragoso y Lavelle, 1987). En las epígeas este patrón no fue tan claro como el encontrado en Carimagua por Jiménez (1999).

En el Cabuyal predominaron las nativas (10 vs 5); en sistemas conservados como la Selva >40 años, las nativas dominaron en abundancia y biomasa, mientras que en el Pastizal dominaron las nativas en abundancia debido a la presencia de *Glossodrilus* sp 2, y las exóticas predominaron en biomasa debido a la presencia de *A. corticis* y *A. gracilis*. Este patrón fue similar al registrado por Feijoo (1993) en otros sistemas de la región Andina colombiana; en pastizales por encima de los 1500 m.s.n.m, encontró mezclas de especies nativas (*Thamnodrilus fuhrmanni*, *T. uncinatus*, *Maipure ecuadoriensis*, *M. euzonus*, *M. agricola*, *Andiodrilus schuetti*, *Onoreodrilus benavidesi*, *Glossodrilus griseus*, *G. lacteus*) y

exóticas (*P. corethrurus*, *Amyntas corticis*, *A. gracilis*, *Dendrodrilus rubidus rubidus*, *D. r. tenuis*, *Octolasiun lacteum*) con predominio en abundancia en unos casos de nativas y en otros de exóticas; mientras que en los sistemas con agricultura comercial intensiva o en pastizales (*Brachiaria humidicola*, *B. mutica*, *Paspalum notatum*, *P. conjugatum* y *Cynodon plectostachyus*) por debajo de los 1500 m.s.n.m sólo se encontraban *P. corethrurus* o *Polypheretima elongata*, las cuales han desarrollado características tales como el rápido crecimiento, eficiente digestión de la materia orgánica del suelo y gran capacidad partenogenética (Fragoso y Lavelle, 1987; Lavelle et al, 1987).

El patrón de las comunidades de lombrices de la región Andina coincidió con el señalado por Fragoso et al (1999) para otras comunidades, “cuando la selva natural y las sabanas son convertidas en agroecosistemas, éstas cambian en abundancia, biomasa, número de especies, categorías ecológicas y composición de especies”.

Los sistemas montañosos andinos se caracterizan por su fragilidad y susceptibilidad a la degradación antropogénica; sin embargo, algunos sistemas tradicionales de cultivo - pastizales y cafetales- son ambientes propicios para la conservación de la biodiversidad, recolonización y multiplicación natural de las especies y, además, han permitido la formación de islas biogeográficas o refugios, que hacen necesario comprender los diferentes modelos surgidos a partir de la transformación del paisaje.

Es el caso de los dos sistemas estudiados, por ejemplo, la Selva >40 años aparece como parche en forma de corredor ripariano en la parte baja de la subcuenca, el cual con el

tiempo albergó diferentes especies vegetales, desde arbóreas, arbustivas, trepadoras y epífitas hasta arvenses que junto a la fauna y al sistema suelo conforman un ambiente que actúa como filtro y permite la adaptación, el refugio transitorio para las especies plásticas que emigran hacia otros ambientes o al similar modificado como en el caso de *M. heterostichon*, *M. agricola*, *M. ecuadoriensis*, *P. corethrurus*, *Dichogaster sp 1* y *Thamnodrilus sp 2*. El Pastizal situado en la parte alta, se presenta como ambiente propicio para la recolonización de especies nativas (*M. agricola*, *M. ecuadoriensis*, *Gen n sp n*, *Glossodrilus sp 2*, *Thamnodrilus sp 2*) e invasión de exóticas (*A. corticis*, *A. gracilis* y *D. octaedra*); a pesar de ser monoespecífico, de tener un solo estrato vertical, el pasto aporta considerables volúmenes de material al suelo, la rizosfera protege contra la sequía y la erosión. A pesar que no todas las especies se ajustan al mismo régimen de conservación, es importante ofrecer una heterogeneidad espacial a escala horizontal y altitudinal en la subcuenca ya que esto contribuirá con la conservación de la biodiversidad de la fauna.

Por las razones anteriores, conocer el suelo no es sólo entender los procesos que ocurren en él, es también entender las interacciones con otros componentes del sistema ambiental. Además de medio para el crecimiento vegetal, el suelo se reconoce como el principal regulador de la humedad terrestre, como fuente y vertedero de los principales gases de invernadero y auxiliar en la interpretación de los cambios globales del pasado (Yaalon, 1996). En la actualidad el suelo se mira como sistema viviente, finito y filtro de productos contaminantes, que se debe proteger y estudiar como un sistema donde se conjugan los procesos, su dinámica, propiedades biológicas, físicas y químicas.

La arquitectura de la vegetación de los dos sitios se caracterizó por las diferencias en el tipo de cobertura. En la Selva >40 años, por ejemplo, la presencia de árboles formando dosel, el sotobosque con predominio de epífitas y las grandes raíces, le confieren posibilidades de albergar una vasta biodiversidad. En el Pastizal predomina *P. clandestinum*, que forma un colchón con sus estolones y raíces a ras de piso que le confieren protección al suelo contra la escorrentía y erosión; además, acumulación de materia orgánica y alta humedad benefician la adaptación de las especies.

Los factores que han permitido la colonización, evolución, distribución y establecimiento de las lombrices a lo largo de la cordillera de los Andes no son claros. Probablemente, el C es un componente importante puesto que coincidió el contenido elevado con actividad alta y cuando se redujo, la población se redujo. Tilman y Dawning (1994) demostraron que el N era el elemento más importante en el mantenimiento de la diversidad de productores primarios. En la Plantación de Pino, no parece haber respuesta de las poblaciones a las altas acumulaciones de C, lo cual se podría relacionar con la calidad de la materia orgánica aportada por la acículas del Pino (compuestos secundarios con carácter hidrofóbico) y la degradación biológica, física y química (Cortés et al, 1990, Perera, 1992).

Los grupos taxonómicos y las categorías funcionales contribuirán en el futuro a la construcción de indicadores de la calidad – salud del suelo, más confiables y dinámicos, complementando el papel que en el pasado se confió a las propiedades físicas y químicas (Doran et al, 1994, Doran et al, 1996). Algunos grupos de la macrofauna, tales como lombrices (*Amyntas corticis*, *A. gracilis*, *Dendrobaena octaedra* y *P. corethrurus*) y

coleópteros (*Dichotomius aff. septentrionalis*, *Heterogomphus chevrolati*, *Oxisternom conspicillatum* y *Passalus sp*) se destacaron como señales tempranas de degradación por que se presentan en ambientes de baja diversidad y por lo tanto su abundancia y biomasa alta se puede asociar con cambios en los procesos y en las propiedades del suelo como consecuencia de actividades perturbadoras ejecutadas en los ecosistemas y agroecosistemas (labranza, aplicación de fertilizantes, plaguicidas, quemas, tala, cultivos simplificados).

En el Pastizal sólo dos especies (*Glossodrilus sp 1* y *Gen N sp n*) tuvieron capacidad para cavar en suelo. La arquitectura superficial de la rizosfera (< 15 cm), disminución de macroporos, los drásticos cambios en los contenidos de materia orgánica (30-40% en 0-10 cm a 3-10 en 50-60), desfavorecen a la macrofauna pues probablemente no cuentan con recursos de calidad y condiciones para sobrevivir en las capas profundas. El efecto de la distribución del contenido de la materia orgánica sobre la distribución vertical de lombrices está por comprobarse y ameritaría realizar fraccionamientos de ésta para determinar las proporciones que se mineralizan y humifican de acuerdo con la profundidad (Cuadro 30). Sin embargo, a pesar de los abruptos cambios en la Selva >40 años, se encontró que *Martiodrilus heterostichon*, *Glossodrilus sp 1*, y *P. corethrurus* moran capas profundas del suelo y en el Pastizal, en ocasiones algunas epígeas tales como *M. agricola* y *A. corticis* emigran hacia estratos profundos (30 cm) en busca de alimento siguiendo las galerías cubiertas con heces de bovino que introduce el coleóptero *Ontophagus taurus*.

La humedad del suelo no limitó la presencia de lombrices por que casi siempre osciló en un rango (35 y 55 %, v/v) permisible. Feijoo et al (sin publicar), en un intento por comprender

los umbrales de humedad de *M. heterostichon*, *A. gracilis*, *A. corticis* y *Gen N. sp n*, encontraron que ellas presentaron problemas de adaptación cuando la humedad estuvo por debajo del 25%. La variable resistencia a la penetración, permitió aproximarse a la respuesta del predominio de las lombrices en el estrato 0-20 cm; después de ésta profundidad, los oligoquetos enfrentan un medio endurecido, por la mayor presencia de microporos, que probablemente dificultan el paso del agua y oxígeno hacia capas profundas. Es esta una razón más que explica el por qué la porosidad total disminuyó mientras que la densidad aparente aumentó con la profundidad, y es que hubo mayor tendencia al adensamiento a pesar del efecto de las raíces y los organismos cavadores en la Selva >40 años mientras que en el Pastizal los bovinos ejercen fuerte presión con el pisoteo a pesar de su baja carga animal por hectárea (0.7). (Cuadro 30).

Cuadro 30. Valores promedios de algunos parámetros biológicos y físicos evaluados en los sitios

Parámetros	Sitios Muestreados			
	Selva > 40 años		Pastizal	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Abundancia promedia (Ind. m ⁻²)	18	17	44	39
Biomasa promedia (g peso fresco m ⁻²)	34	71.2	18.2	5.5
Diversidad (lombrices x sitio)	10	3	7	2
Materia Orgánica (%)	5 – 10	4 - 8	30 – 40	7 - 18
Porosidad total (%)	62.13	54.83	83.70	76.22
Espacio aéreo (%)	14.35	11.55	30.55	17.85
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.89	1.07	0.36	0.50
Textura	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco	Franco-arenoso

Los dos sitios se caracterizaron por presentar buena macroagregación en todo el perfil del suelo, esto pudo deberse al efecto agregante de las grandes raíces en la Selva >40 años y a

las altas acumulaciones de materia orgánica en el Pastizal, los cuales incidieron en la mayor presencia de macroagregados (> 2 mm) que se caracterizan por ser variables y conferirle la estructura al suelo, además contienen la mayor proporción de nutrimentos asimilables para las plantas (Gijsman, 1996; Meléndez et al, 1998) mientras que los micro (<250 μ m) fueron inferiores y no de mucho peso, y se caracterizan por ser relativamente estables y no están afectados por los cambios en el contenido de materia orgánica (Tisdall y Oades, 1982; Tisdall y Oades, 1982; Amézquita, 1999).

La presencia de *M. heterostichon* en el suelo de la Selva >40 años modificó los macroagregados (>2 mm) de manera significativa al incrementar sus proporciones (Anexo 6). Esta agregación se debe a la ingestión selectiva de partículas en diversas capas del suelo (0-60 cm) y a la alta capacidad y diámetro del tracto intestinal de *M. heterostichon*. En este sentido, muchos estudios relacionan la presencia de lombrices con la estabilidad de los agregados (Swaby, 1949; Lal, 1988; Blanchart, et al. 1989; Monnier, 1992; Zhang y Shrader, 1993; Fragoso et al, 1993), ya sea por la producción de heces, estímulo del crecimiento de hifas fungales sobre las excretas o unión de heces frescas con suelo no ingerido (Blanchart, et al. 1989).

Es conocido que la actividad de las lombrices tiene efectos positivos sobre las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo y sobre el crecimiento de las plantas (Darwin, 1881, Lunt y Jacobson, 1944; Hopp, 1948; Satchell (1967, 1971), Lee (1983, 1985), Bouche (1972), Easton et al (1987), Lavelle et al (1987), Lavelle (1988, 1989), Lavelle, et al (1989), Lee, 1985; Lal, 1988; Lavelle et al, 1994; Lavelle et al, 1998; Lavelle et al, 1999). En la

Selva > 40 años los contenidos de C, N y la relación C : N de las heces de *M. heterostichon* fueron significativamente menores que el suelo de los alrededores, igual situación se encontró en el Pastizal para la especie *Gen nuevo sp n* aunque con porcentajes más altos y sólo con diferencias significativas con el estrato 10-20 cm. Esto demuestra la poca capacidad que tienen estas especies para seleccionar partículas orgánicas (especies endógeas) y que, por el contrario, su alimento está constituido por partículas minerales (Scheu, 1990; Fragoso et al, 1993). De otro lado, hubo diferencias en cuanto al efecto de las lombrices sobre el P y las bases intercambiables, por ejemplo, *M. heterostichon* no aumentó estos contenidos disponibles mientras que *Gen Nuevo sp n* produce heces con un contenido de bases intercambiables y P superior al del suelo de los alrededores, coincidiendo con lo encontrado para *Martiodrilus sp n* en Carimagua (Cepeda, 1996); esto probablemente se debe a las diferencias en sus estilos de vida, la primera cava hasta 60 cm de profundidad con distribución promedio vertical de 17.7 cm e ingiere alimento en los primeros cuatro estratos del suelo, mientras que la otra lo hace a 6.2, y la mayor parte de su alimento lo constituye el material que consume en el primer estrato.

Estos hallazgos llevan a formular propuestas de manejo con dos enfoques. El primero se relaciona con la fertilidad del suelo, en el cual los cultivos que garanticen la productividad y sostenibilidad del sistema deben incluir en el suelo por lo menos dos de tres grupos de especies de lombrices de diferente categoría ecológica y hábito alimentario: una, las que modifiquen la circulación de los nutrientes de la materia orgánica (epígeas), dos, las que consuman partículas minerales y que modifiquen la estructura del suelo con su actividad cavadora y producción de heces al interior y exterior del suelo (endógeas), y tres, las que

conjuguen las dos categorías anteriores (anécicas o endoanécicas). El segundo enfoque tiene relación con las lombrices como bioindicadores o señales tempranas de degradación de sistemas de cultivo, por lo tanto el manejo de la interacción de especies de diferente nivel trófico debería ser considerado en el futuro como un estado de buena calidad / salud del suelo.

Futuras investigaciones pueden ser útiles para identificar y cuantificar indicadores biológicos, ecológicos y de interacción de éstos con parámetros físicos y químicos como una medida para establecer programas de monitoreo y evaluación de bases de datos para generar tecnologías sostenibles que permitan predecir cambios en sistema de cultivo. En un intento por encontrar relaciones de este tipo en sistemas de cultivo, Mele y Carter (1999) para explicar la variación de los patrones de distribución de la población, los resultados mostraron una pobre relación entre ellos al correlacionar la densidad de lombrices con diversos parámetros físicos y químicos. En este caso el diseño de la investigación no se organizó de acuerdo con el postulado de distribución no normal de la abundancia de lombrices en el suelo; por lo tanto, el parámetro de comparación pudo haber sido la biomasa y no la abundancia, pues se trata de una variable que se obtiene por conteos y no por medición. Así mismo, al analizar la regresión entre fitomasa de hojas y troncos caídos y biomasa de lombrices para la Selva > 40 años y el Pastizal, el modelo lineal explicó bajo porcentaje de la variación total, por lo tanto una alta acumulación de fitomasa no garantiza la alta biomasa de lombrices, sin embargo, esto pudo deberse al predominio en la biomasa de especies endogeicas, las cuales no utilizan el mantillo como alimento.

El patrón de distribución de la oligoquetofauna de Colombia se caracterizó por la presencia de especies que se podrían aglutinar en cinco grupos:

- Las especies nativas que habitan ambientes con umbral de distribución limitado a selvas Andinas, húmedas tropicales o sabanas nativas de los Llanos Orientales
- Las nativas con amplia distribución en Colombia y Ecuador, las cuales moran en ambientes que van desde selvas hasta sistemas de cultivo multiestratificados y pastizales que se encuentran por encima de los 1500 m.s.n.m en la región Andina o por debajo de los 700 en Orinoquía y Amazonía.
- Las especies exóticas introducidas de Europa o Norte América que moran en suelos por encima de los 1500 m.
- Las especies exóticas introducidas de Asia y Africa que invaden suelos con abundante cobertura superficial y que ocurren en ambientes desde 50 m.s.n.m hasta 3900 m.
- Las especies exóticas con origen en el neotrópico que invaden sistemas de cultivo con alta degradación y que se encuentran por debajo de los 1800 m.

A nivel local las especies con mayor amplitud en su distribución en la subcuenca del río Cabuyal fueron *M. ecuadoriensis*, *M. agricola*, *A. gracilis* y *A. corticis* (1300, vereda el Socorro hasta 2200 m.s.n.m., Vereda La Aguada) y le siguieron *M. heterostichon* y *P. corethrurus* (1300, vereda El Socorro hasta 1800 vereda Buenavista). Por este amplio rango de distribución y su capacidad para adaptarse a diversos ambientes se consideraron como especies con alto uso potencial en actividades agrícolas ya que no solamente se encuentran en este tipo de suelos sino también en sistemas de cultivo de Vertisoles del valle

geográfico del río Cauca (a 1000 m aproximadamente). Por su versatilidad, es importante adelantar líneas de investigación que promuevan la integración de la biología, química y física para demostrar cómo las lombrices y otros organismos afectan la estructura y la circulación de los nutrientes; así como desarrollar y aplicar metodologías amigables de muestreo que sean aplicables para los agricultores y así poder monitorear los recursos naturales a nivel del paisaje. En la evaluación de interacciones a nivel local, regional y del paisaje se recomienda montar ensayos para determinar el efecto de la adición de materia orgánica sobre la calidad física y química del suelo y su relación con la actividad de lombrices; así como medir su posible impacto sobre la calidad del agua superficial y subterránea, o las implicaciones de la adición para el suelo. Este punto tiene implicaciones prácticas pues contribuiría a desarrollar capa arable en sistemas agrícolas y posiblemente mejorará la actividad de diversas lombrices pero también posibilita medir el impacto ambiental a nivel del cambio climático por la introducción de la materia orgánica, usando indicadores biológicos para suelos, aguas y medir su efecto sobre las emisiones de gases (CO₂, CH₄).

La mayoría de las especies de lombrices encontradas en Colombia están incluidas en la familia Glossoscolecidae (80), 78 de las cuales son nativas y dos exóticas (*P. corethrurus* y *Onychochaeta (e) elegans*) que se encontraron en hábitats altamente intervenidos. No son claras las razones por las cuales gran cantidad de especies de esta familia predominan en la región Andina colombiana, ecuatoriana, peruana y venezolana con géneros comunes *Martiodrilus*, *Thamnodrilus* para Colombia, Perú y Ecuador y *Andiodrilus*, *Glossodrilus*, *Onoreodrilus*, *Aptodrilus*, *Holoscolex* y *Periscolex* para Ecuador y Colombia y *Andiodrilus*,

Andiorrhinus, *Glossodrilus* y *Onychochaeta* para Venezuela y Colombia. Sólo Colombia y Ecuador tiene especies comunes tales como *M. heterostichon*, *M. agricola*, *M. euzonus* y *M. ecuadoriensis*, que sobreviven y coexisten con especies exóticas en agroecosistemas alterados. Se cree que muchas de las especies primitivas tienen gran número de glándulas calcíferas (*Martiodrilus*) y son holándricas con dos pares de ductos simples masculinos independientes, por tal razón se propuso como probable centro de origen de la familia a la región entre Mérida (Venezuela) y las cordilleras Occidental y Oriental en Colombia y que desde allí emigraron hacia el occidente y al norte hasta Costa Rica y al sur a través de los ríos Orinoco y Amazonas y un pequeño número hasta las riveras del río Paraguay (Righi, 1984). Con relación a los géneros derivados de *Martiodrilus*, que por poseer 8 pares de glándulas calcíferas se consideró ancestral, se ha propuesto que "de especies con organización similar a la especie *Martiodrilus euzonus* pudieron derivar los géneros: 1. Quimbaya, por la elongación de algunos de los tubos de las glándulas calcíferas en su unión con el vaso sanguíneo axial y; 2. Perolofius, por la reducción de los tubos calcíferos y la desaparición de los órganos genitales anteriores" (Righi, 1984). De aquí en adelante se pudieron desencadenar una serie de movimientos evolutivos que permitieron la conformación de los géneros actuales y su establecimiento en las regiones selváticas o en pequeños relictos que conservaron la diversidad. En Colombia el paso de una cuenca hidrográfica a otra implica encontrar especies diferentes, Feijoo (1993) en el inventario de dos cuencas (Amaime y Nima) próximas, diferenció 10 y 13 especies nativas por cuenca respectivamente, mientras que Righi (1995) en un transecto de aproximadamente 70 km en el Parque de los Nevados, encontró 30 especies y una nueva familia (Tumakidae).

Al destruirse la selva andina, subandina o la sabana nativa y sustituirla por pastizales, se modificaron las comunidades de lombrices y algunas especies se beneficiaron con el cambio, por ejemplo, las endogeicas (*Andiodrulus schuetti*, *A. bogotaensis*, *Aptodrilus fuhrmanni*, *A. uncinatus*, *G. griseus* y *G. lacteus*) ocurren con altas densidades y coexisten con exóticas para la región Andina, o nativas como en el caso de *G. sikuani*, *M. carimaguensis*, *M. martiodrili*, *A. ofeliae*, *A. ainawi*, *A. yoparensis* (especies sin publicar) en Carimagua. Otros grupos de especies epígeas (*Onoreodrilus benavidesi*, *O. loksai*, *M. palmirus*) son frágiles y desaparecen con la modificación del paisaje.

Por otro lado, La distribución de las lombrices encontradas en Colombia está asociada con factores que operan en diferentes escalas de tiempo y espacio: el tipo de vegetación (ambientes de selva, relictos secundarios y pastizales introducidos), suelos (Andosoles e Inceptisoles) y el régimen climático en diferentes gradientes altitudinales, favorecen las altas tasas de endemismo y contribuyen con la elevada diversidad del hábitat (alfa), entre hábitats (beta) y geográfica (gama). La alta diversidad observada para las lombrices ocurre en condiciones ecológicas similares, pero taxonómicamente diferentes, las especies se encuentran en hábitats geográficamente aislados por las cordilleras, ríos o cambios en el tipo de vegetación o suelos que frecuentemente limitan el intercambio de especies. Los sitios que ocupan las especies endémicas se caracterizan por alta acidez de los suelos debida a la abundante acumulación de materia orgánica, baja actividad microbial y temperatura, y baja capacidad de intercambio catiónico; por tales razones, las especies probablemente han evolucionado para interactuar y modificar la materia orgánica a través del rúmen externo o sistema digestivo endosimbiótico facultativo, estableciendo relaciones

de tipo mutualístico (con microorganismos y raíces), que permiten explotar los recursos orgánicos del mantillo y el suelo (Barois et al, 1989; Lavelle et al, 1995).

La existencia de centros de endemismo y/o diversidad de especies está fundamentado (Prance, 1973; Huston, 1994), sin embargo, la validez de la teoría de los refugios como explicación de los patrones de endemismo y diversidad de especies en el trópico ha sido cuestionada (Huston, 1994). Los argumentos presentados con relación al incremento del aislamiento genético en condiciones de baja productividad sugieren que la especiación puede ocurrir con alta tasa en algunos sitios con condiciones climáticas adversas. Así los altos niveles de endemismo y alta diversidad de especies (diversidad geográfica) no requieren la existencia histórica de refugios, y se puede explicar por procesos corrientes. Es decir, las condiciones de baja productividad resultante de la alta precipitación están asociados con altos niveles de endemismo de plantas y animales y a menudo alta diversidad de especies en las selvas tropicales. En algunos pero no en todas las situaciones, altos niveles de heterogeneidad topográfica están asociados con el endemismo y la diversidad de especies (Huston, 1994). La región Andina se caracteriza por amplio endemismo de lombrices en la alta montaña y tienen limitaciones para desplazarse debido a la irregularidad del paisaje, presencia frecuente de ríos y el cambio de la vegetación, que en conjunto varían asociados con la elevación altitudinal, aumento de la precipitación y disminución de la temperatura. Desde el punto de la evolución e historia, las lombrices parecen ser uno de los grupos más prometedores. El estudio de la región Andina y el piedemonte tropical podrá enseñarnos sobre la historia del levantamiento y la evolución conjunta del sistema de montañas y las lombrices (Righi & Van der Hammen, 1995).

6. CONCLUSIONES

- En la Subcuenca hidrográfica del río Cabuyal, región de los Andes colombianos, se dio a conocer el uso potencial de la riqueza de especies de la macrofauna como indicadores potenciales del cambio del uso de la tierra.
- La densidad, biomasa, riqueza de especies de la macrofauna se reconoció como un recurso potencial para diferenciar agroecosistemas debido a la frecuencia de uso y el tipo de vegetación de los usos de la tierra, lo que indica cambios en las propiedades del suelo causado por las diferentes prácticas de manejo.
- En la Subcuenca hidrográfica del río Cabuyal, región de los Andes colombianos, existe una gran riqueza de especies de lombrices de tierra. Se encontraron 20 especies lo que constituye uno de los valores más altos registrados para ambientes tropicales.
- De las 18 especies encontradas en la Selva >40 años y el Pastizal, siete (*P. corethrurus*, *M. heterostichon*, *M. ecuadoriensis*, *M. agricola*, *A. corticis*, *A. gracilis* y *Dendrobaena octaedra*) se pueden considerar con alto uso potencial en suelos agrícolas o como indicadoras de cambio de agrosistemas, debido su gran capacidad de adaptación y mayor aporte de biomasa.

- Las herramientas usadas en el análisis de la información permitieron aproximarse a los patrones de distribución temporal y horizontal de las poblaciones de lombrices.
- La humedad del suelo no fue una limitante para la presencia de lombrices en los sitios estudiados.
- El Pastizal presentó mayor humedad en todas las capas del suelo a pesar de no presentarse cobertura de dosel ni raíces de árboles.
- Los dos sitios se caracterizaron por presentar buena macroagregación y porosidad con alta estabilidad de los agregados. Esto influyó en la alta riqueza de especies con diferentes categorías ecológicas
- La densidad aparente fue más alta en la Selva >40 años que en el Pastizal debido a la diferencia con el tipo de suelo (Inceptisol vs Andisol) y la mayor acumulación de materia orgánica en el segundo, lo que a la vez permitió mayor agregación en el Pastizal.
- En la Selva > 40 años *Martiodrilus heterostichon* cava hasta 60 cm de profundidad, construyendo galerías subhorizontales desde el estrato 0-10 cm y profundiza hasta los estratos 20-30, 30-40, 40-50 o 50-60, con predominio en 20-30 y se cubre con sus heces cuando llega la temporada seca, formando cámaras de diapausa, y protegiéndose de la sequía hasta la llegada de las lluvias.

- La especie *M. heterostichon* modificó la estabilidad de los agregados diámetro promedio de agregados por su capacidad de seleccionar el alimento que ingirió presentando sus heces mayor estabilidad que el suelo de la Selva > 40 años.
- La Selva >40 años y el Pastizal de *Pennisetum clandestinum* se caracterizaron por tener una alta diversidad de especies; sin embargo, la Selva es un sistema más complejo debido a la mayor heterogeneidad espacial, diversidad vegetal y mayor productividad de residuos orgánicos en la superficie del suelo, lo cual se reflejó en la menor afinidad unidireccional de las especies, mayor tasa de recambio, menor solapamiento vertical y temporal, mayor variabilidad de la abundancia de lombrices y alta presencia de algunas lombrices en estratos del suelo por debajo de los 20 cm.

7. RECOMENDACIONES

- Formular programas de investigación que integren el establecimiento de sistemas de cultivo con márgenes de selva o sucesiones que posibiliten la emigración de las especies cuando las condiciones de los cultivos en surco sean estresantes, ya que la diversidad y sostenibilidad de los agroecosistemas dependerán de su actividad biológica.
- Realizar estudios de macroinvertebrados teniendo en cuenta su interacción con vegetación, flujo de exudados, humedad del suelo, biomasa de raíces, relaciones con circulación de nutrimentos, meso y microfauna del suelo.
- Llevar a cabo estudios relacionados con morfometría funcional de lombrices tropicales para precisar criterios de diferenciación de las categorías ecológicas.
- Realizar un cladograma con las características de las estructuras morfo anatómicas de los géneros de la familia Glossoscolecidae para determinar agrupaciones y características próximas que permitan profundizar en el examen de hipótesis relacionadas con la filogenética.
- Proponer una línea de investigación que determine la relación de los grupos dominantes en agroecosistemas con el carbono orgánico del suelo como indicador cualitativo y cuantitativo de cambio de la materia orgánica; así como Sparling et

al.(1992) mostraron la correlación entre biomasa microbial y materia orgánica del suelo como indicador de cambio.

- Determinar categorías de uso del suelo con base en mayor información sobre las propiedades del suelo y el estudio de los procesos y dinámica de poblaciones de algunos de los grupos citados especialmente lombrices de tierra, hormigas y coleópteros.
- Realizar fraccionamientos de la materia orgánica para determinar la calidad y las proporciones que se mineralizan y humifican de acuerdo con la profundidad para establecer relaciones con las poblaciones de lombrices.
- Realizar estudios a largo término en diversos tipos de uso de la tierra con varios grupos de la fauna del suelo para determinar relaciones con algunas propiedades físicas y químicas y poder generar de manera iterativa la creación de posibles índices que permitan valorar la calidad y salud del suelo; así como indagar acerca del papel de éstos grupos en los procesos de descomposición de residuos de plantas y su relación con la calidad mantillo y actividad en condiciones de campo contrastantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Amézquita, E. y Londoño, H. 1997. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. En: Suelos Ecuatoriales. Vol: 9: 163-169.
- Andersen, C. (1980). The influence of climatic conditions on activity and vertical distribution of earthworms in a Danish arable soil 57-68.
- Anderson, J.M. & Flanagan, P.W. (1989). Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: Coleman, D.C., Oades, J.M. and Uehara, G. (eds) Dynamics of Soil Organic Matter in tropical ecosystems. Honolulu, Hawaii, UK: University of Hawaii Press.
- Anderson, J. and Ingram J. (Eds.). (1993). Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods, 2nd edition, Oxford: C.A.B., 221 p.
- Andrade, G. I. (1993). Biodiversidad y conservación en Colombia. En: Nuestra diversidad biológica. Bogotá, CEREC.
- Andrade, G; Mihara, K; Linderman, R. and Bethlenfalvay G. (1998). Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and soil*. 202,89-96.
- Ayala, S. C.; Morris, B.; Rooney, B.; Stuart, A.; Woodhull, B.A. (1972). Colony of giant Andean earthworms. *Bioscience*, 22 (5): 229 - 301.
- Baver, L. D; Gardner, W. H; Gardner, W. R. (1972). Física de suelos. México, D. F. Uteha. 529p.
- Bernier, N.; Ponge, J. F. (1994). Humus form dynamics during the sylvogenetic cycle in a mountain spruce forest. *Soil Biol. Biochem.* 26 (2): 183-220.
- Blanchart, E.; Lavelle, P.; Spain, V. (1989). Effectes of two species of tropicalearthworms (*Oligochaeta*: Eudrilidae) on the size distribution of agregates in a African soil. *Revue D'Ecologie et de Biologie du sol*. 26(4): 417-425.
- Blanchart, E. and Julca, J. M. (1997). Influence of forest disturbance on earthworm (*Oligochaeta*) communities in the western Ghats (south-India). *Soil Biology and Biochemistry* 29 (3, 4): 303-306.

Bamforth, S. (1997). Protozoa: recyclers and indicators of agroecosystem quality. In: G. Benckiser (ed). Fauna in soil ecosystems: recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production. Marcel Dekker. p 63-84.

Barois, I. Et Martin, A. (1989). Interactions entre les vers de terre et la microflore du sol pour l'exploitation de la matière organique du sol. In: P. Lavelle (ed.) Processus biologiques et fertilité du sol dans les savanes humides de Côte D'Ivoire. Programme TSBF Côte D'Ivoire (IUBS/MAB-UNESCO) report d'avances No.2 : 16-25.

Beddard, F. E. (1892). The earthworm of the Vienna Museum. Ann. & Mag. Nat. Hist., 6 (9): 113 - 134, 1892.

Benckiser, G. (1997). Organic inputs and soil metabolism. In: G. Benckiser (ed). Fauna in soil ecosystems: recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production. Marcel Dekker. p 6-62.

Besoain, E. (1970). Curso de mineralogía de suelos. Turrialba, IICA – CTEI, p 371.

Blair J. M.; Bohlen, P. J. and Freckman, D. W. (1996). Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: J. W. Doran and A. J. Jones (ed). Methods for assessing soil quality. Madison, WI: SSSA, p 273-291. (Spec. Publ.49).

Bohlen, P.J. and Edwards, C.A. (1995). Earthworm community structure and diversity in experimental agricultural watersheds in Northeastern Ohio. In: H.P. Collins, G.P. Robertson, and M.J. Klug (eds). The significance and regulation of soil biodiversity..., Netherlands: Kluwer.

Bouche, M. B. (1972). Lombriciens de France; écologie et systématique. Paris, Institut National de la Recherche Agronomique. 668 p.

Brown, G.G. (1995). How do earthworms affect microfloral and fungal community diversity?. Plant and soil 170, 209 – 231.

Brussaard, L. (1999). On the mechanisms of interactions between earthworms and plants. Pedobiologia 43: 880 – 885.

Buckman, H and Brady, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Edit. Aragón. Barcelona España. p 544 .

Buitrago, C. (1995). Estudio sobre la variabilidad espacial de las propiedades químicas de un suelo bajo dos condiciones: cobertura de bosque natural y laboreo permanente. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Tesis Ing. Agrónomo. p 95.

Cepeda, A.J. A. (1996). Efecto de la lombriz *Martiodrilus carimaguensis* en la disponibilidad del fósforo en suelos de sabana de los Llanos Orientales. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. Tesis Ing. Agrónomo.

- Chamorro, B. (1981). Correlación entre la población de lombrices de tierra y sus características físico - químicas de tres suelos seleccionados de la Sabana de Bogotá. Tesis Mg. Sci. Bogotá, Univ. Nac. Colombia - Instituto Colombiano Agropecuario. 1981.
- Chamorro, B. (1986). Actividad de las lombrices de tierra en el Páramo de Chisacá (Cundinamarca - Colombia). *Suelos Ecuatoriales*, 16 (1): 95 - 101, 1986.
- Coleman, C.D. and Crossley, D.A. (1996). *Fundamentals of soil ecology*. New York, USA: Academic Press.
- Collins, N.M. (1980). The distribution of soil macrofauna of the west Ridge of Gunung (Mount) Mulu, Sarawak, *Oecologia*, 44, 263-275.
- Conover, W.J. (1971). *Practical nonparametric Statistics*. John Willey & Sons, New York, USA. 462 p.
- Cortés, A.; Chamorro, C. y Vega, A. (1990). Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en una área aledaña al embalse del Neusa (P'ramo de Guerrero). *En*: IGAC. Bogotá. P 101-114.
- Crossley, D. (1977). The roles of terrestrial saprophagous arthropods in forest soils: current status of concepts. *In*: W. Mattson (Ed). *The roles of arthropods in forest ecosystems*. Springer-Verlag, New york, p. 49-56.
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Acad. Colombiana de Cienc. exactas físico - químicas y naturales*, 10 (40): 221 - 268.
- Curry, J. P. (1994). *Grassland Invertebrates*. Chapman & Hall, London. 437 pp.
- Curry, J. P. (1998). Factor affecting earthworm abundance in soils. *In*: Edwards, C.A. (ed). *Earthworm ecology*, London, St Lucie p 103 - 122..
- Edwards, C.A. and Lofty, J. R. (1972). *Biology of earthworms*. London, Chapman and Hall. P. 202.
- Darwin, C. 1881. The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits. Murray, London.
- Dash, M. C. (1977). Density, biomass and energy budgy budget of a tropical earthworm population from a grassland site in Orissa, India. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 14: 461-471.
- Decaens, T.; Lavelle, P.; Jimenez, J.J.; Escobar, G. and Rippstein G. (1994). Impact of land management in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.*, 30 (4): 157-168.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: J.W Doran; D.C. Coleman; D.F. Bezdicsek and B.A. Stewart (ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI.

Doran, J. W.; Sarrantonio, M. and Liebig, M. A. (1996). Soil health and sustainability. Adv. Agron. Vol. 56: 1-54.

Duque, M. C. (1996). Patrones de disposición espacial y su importancia en la definición de un plan de muestreo en MIP. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. p. 37.

Easton, G. E. (1987). Forests and the distributions of "perichaetine" earthworms. In: Bonbicini, A. M. and Omodeo, P. (eds.). On earthworms. Selected Symposia and Monographhs. pp. 265-280, 2, Mucchi Modena, Italy.

Edwards, C. (1998). Earthworm Ecology. Boca Raton, St Lucie Press.

Fajardo, G. y Prince, C. (1976). Ciclo biológico y algunos aspectos ecológicos de las lombrices de tierra en dos suelos de la sabana de Bogotá. Tesis Biólogo. Bogotá, Univ. Nac. Colombia. p. 77.

Feijoo, M. A. (1993). Inventario de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de una región del Departamento del Valle, Colombia. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. p 186.

Feijoo, M. A. (1994). Relaciones espacio temporales de algunas lombrices de tierra con uso potencial en agricultura. Suelos Ecuatoriales, 24: 99-102.

Feijoo, A. M; Ochoa, W. A; Amézquita, E; Knapp, E. (1998a). Relación entre el ambiente físico del suelo y la fluctuación de lombrices de tierra en áreas de laderas andinas, Colombia. Suelos Ecuatoriales. En prensa.

Feijoo, M. A. y Knapp, B. E. (1998b). El papel de los macroinvertebrados como indicadores de fertilidad y perturbación de suelos de laderas. Suelos Ecuatoriales, Vol. 28: 254-259.

Feijoo, M. A.; Knapp, B. E.; Lavelle, P.; Moreno, A. (1999). Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. Pedobiologia. vol. 43: 513-517.

Fragoso, C. (1985). Ecología general de las lombrices de tierra (Oligochaeta: Annelida) de la región de Boca de Chajul, Selva Lacandona (Chiapas, Mexico). Tesis Biol. Mexico, UNAM. 133 p.

Fragoso, C. (1989). Lombrices de tierra de la Reserva "El Cielo". Aspectos ecológicos y sistemáticos. Biotam, 1:38-44.

- Fragoso, C. (1991). Two new species of the earthworm genus *Lavellodrilus* (Oligochaeta, Acanthodrilini) from tropical Mexican rain forest. *Stud. Neot. Fauna and Envir.* Vol. 26 (2): 83 - 91.
- Fragoso, C. (1992). Las lombrices terrestres de la selva Lacandona: sistemática, ecología y potencial práctico. In: Vásquez-Sánchez, M.A. y M.A. Ramos (eds). *Reserva de la biósfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su Conservación.* Publ. Esp. Ecosfera 1: 101-118.
- Fragoso, C. (1993). Les peuplements de vers de terre dans L'est et sud -est du Mexique. Thèse de Doctorat, Université Paris 6. P 228.
- Fragoso, C. (1995). Native earthworms of the North neotropical region: current status and controversies. In: Hendrix, P.F. (Ed.). *Earthworm ecology and biogeography in North America.* London, Lewis Publishers. p 67-126.
- Fragoso, C. and Lavelle, P. (1987). The earthworm community of a Mexican tropical rain forest (Chajul, Chiapas). In: A. M. Bonvicini Pagliai and Omodeo (eds.). *On earthworms.* Modena, Italy. P 281-295.
- Fragoso, C. and Lavelle, P. (1992). Earthworms communities of tropical rain forest. *Soil Biol. Biochem.*, Vol. 24 (12): 1397-1408.
- Fragoso, C.; Barois, I.; González, C.; Artega, C. and Patrón, J. (1993). Relationship between earthworms and soil organic matter levels in natural and managed ecosystems in the Mexican tropics. In: Mulongoy, K. and Merckx, R. *Soil Organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.* Chichester, John Wiley & Sons. p 231-239.
- Fragoso, C. and Lavelle, P. (1995). Are earthworms important in the decomposition of tropical litter. In: Vikram, M. (ed). *Soil organisms and litter decomposition in the tropics.* New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co. PVT. Ltd, p 103 -112.
- Fragoso, C.; Lavelle, P.; Blanchart, E.; Senapati, B.; Jiménez, J.; Martínez, M.; Decaens, T. and Tondoh, J. (1999). Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. In: Lavelle, P.; Brussaard, L. and Hendrix, P. (eds). *Earthworm management in tropical agroecosystems.* Wallingford, CABI International. P 27-55.
- Gavande, S. (1972). *Física de suelos.* Ed. Limusa Wiley. México. 351p.
- Gauch, H. G. (1982). *Multivariate analysis in community Ecology.* Cambridge, Cambridge University Press.
- Ghilarov, M. S. (1979). Soil fauna of brown soil in the Caucasus beech and fir mixed forest and some other communities. *Pedobiología*, 19, 408-424.

- Gijsman, A.J. (1996). Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. *Australian Journal of Soil Research*, 34, 891-907.
- Gijsman, A. J and Sanz, J. (1998). Soil organic matter pools in a volcanic-ash soil under fallow or cultivation with applied chicken manure. *European Journal of Soil Science*, 49, 427-436.
- Gijsman, A. J and Thomas, R. J. (1995). Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legume-base and pure grass pasture in the eastern Colombian savannas. *Australian Journal of soil research*, 33, 153-165.
- Gijsman, A. L and Thomas, R. J. (1996). Evaluation of some physical properties of an oxisol after conversion of native savanna into legume-based or pure grass pastures. *Tropical Grasslands*, 30, 237-248.
- González, A. (1983). Anotaciones sobre física de suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. 100- 103 pp.
- Green, R.H. (1970). On fixed precision level sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12: 249-251
- Henao, M. C. (1998). Caracterización granulométrica de algunos suelos derivados de ceniza volcánica de la zona cafetera por el método de la resina sódica. *Rev. Suelos Ecuatoriales*, Vol 28 (156 – 162).
- Hernández, C.J.; Ortiz, Q.R.; Walschburger, T. y Hurtado, G.A. (1992). La biodiversidad en Colombia. En: Gonzalo, H.(Compilador) *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Acta Zoológica Mexicana.
- Hopp, H. The ecology of earthworms in cropland. *Soil Sci. Soc.Amer. Proc.*, 12: 503 507, 1948.
- Huston, M. A. (1994) *Biological diversity: The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press. 681 p.
- Iafrancesco, V. G. y Portella, A. E. (1987). Contribución a los estudios de Anélidos glossoscolecidos de Colombia; morfología y anatomía de *Martiodrilus crassus*. Univ. Javeriana. Fac. Ciencias, Bogotá.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1975. Suelos de cenizas volcánicas del Cauca. Subdirección agrológica. Vol 11 No 8. 119 p
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. (1976). Estudio general de suelos de los municipios de Santander de Quilichao, Piendamó, Morales, Buenos Aires, Cajibío y Caldono (departamento del Cauca). Bogotá, IGAC, 472 p.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) Y CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE GEOGRAFICO DEL RIO CAUCA (CVC). (1979). Estudio general de suelos de la parte alta de las cuencas de los ríos Piendamó, Cajibío y Ovejas, departamento del Cauca. Bogotá. 302 p.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) e INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). (1985). Zonificación agroecológica de Colombia. Memoria explicativa, Bogotá. 53 p.

IGAC. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Subdirección Agrológica. Sta Fé de Bogotá. 813p.

Iwao, S (1975). A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Res Population Ecol.* 16: 281-288

James, S. W. (1990). *Martiodrilus olivaceous* y *M. panamensis*, new earthworms from Colombia and Panamá (Oligochaeta: Glossoscolecidae). *Zool. Scripta*, 19 (3): 305 - 308.

Jesus L. (1980). Lombrices de tierra (Lumbricidae y Megascolecidae) de Aranjuez. Tesina de Licenciatura. Universidad Complutense. Madrid. 82 p.

Jiménez, J.J. (1999). Estructura de comunidades y dinámica de las poblaciones de lombrices de tierra en las sabanas naturales y perturbadas de Carimagua (Colombia). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Kale, R.D.; Krishnamoorthy, R.V. (1981). What affects the abundance and diversity of earthworms in soils? *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Animal Sciences)* 90 (1): 117-121.

Kemper, W. D and Rosenau, R. C. 1996. Aggregate stability and size distribution. In: "Methods of soil analysis, Part 1". 2nd edn. (Ed. A. Klute) p 425-42. Agronomy series No 9. (American Society of Agronomy/soil Science Society of America:Madison, WI.

Knapp, E.B.; Ashby, J.; Ravnborg, H.; Bell, W. (2000). A landscape that unites: community-led management of Andean watershed resources. In: Lal, R. Integrated watershed management in the global ecosystem Boca Raton, CRC Press. p 125-143.

Kuno, E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Res popul Ecol* XI pp 127-136.

Lal, R. (1988). Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystem. *Agriculture, Ecosystems and environment*. Vol. 24 : 101-116.

Lavelle, P. (1977). Les vers de terre de la savane de Lamto (Cote d'Ivoire). Peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. E.N.S. Publications du laboratoire de Zoologie 12. Paris. 301 p.

Lavelle, P. (1978). Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Thèse de Doctoral, Paris VI. Publ. Lab. Zool. E.N.S., 12. P 301.

Lavelle, P. (1979). Relations entre types écologiques et profils démographiques chez les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Rev. Ecol. Biol. Sol. 16, 85-101.

Lavelle, P. (1981). Stratégies de reproduction chez les vers de terre. Acta Oecol. Oecol. Gener. 2: 117-133.

Lavelle, P. (1983). The soil fauna of tropical savannas. The earthworms. In: Bourliere (ed.), Tropical savannas, Elsevier, p. 485 - 504..

Lavelle, P. (1988a). Earthworms activities and the soil system. Biol.Fertil. soil, 6: 237-251

Lavelle, P. (1988b). Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils: Aims and methods. J. Afr. Zool. 102.

Lavelle, P.; (1992). Small – scale and large – scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. Soil Biol. Biochem., 24: 1491-1498.

Lavelle, P.; Douhalei, n.; Sow, B. (1974). Influence d'humidité du sol sur la consommation et la croissance de *Millsonia anomala* (Oligochaeta, Acanthodrilidae) dans la savane de Lamto (Cote d'Ivoire). Annales de l'Université d'Abidjan, serie (Ecologie). 7 (1): 305-314.

Lavelle, P.; Maury, M. E. y Serrano, V. (1981). Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la región de Laguna Verde, Veracruz, época de lluvias. Inst. Ecol. Publ. (México), 6: 75-105.

Lavelle, P. and Kohlman B. (1984). Étude quantitative de la macrofaune du sol dans un forêt tropicale du Mexique (Bonampak, Chiapas). Pedobiologia, 27: 377-393.

Lavelle, P.; Barois I.; Cruz I.; Fragoso C.; Hernandez H.; Pineda A. and Rangel P. (1987). Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. Biol. Fertil. Soils, 5: 188-194.

Lavelle, P. and Pashanasi B. (1989). Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). Pedobiologia, 33::283-291.

Lavelle, P.; SCHAFER, R. and ZAIDI, Z. (1989). Soil ingestion and growth in *Millsonia anomala*, a tropical earthworm, as influenced by the quality of the organic matter ingested. *Pedobiologia* 33: 379 - 388.

Lavelle, P.; Dargerfiel, C.; Fragoso, C.; Eschenbrenner, V.; Lopez H. D.; Pashanasi and Brussaard, L. (1994). The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: Woormer, P. L. and Swift, M. J. (Eds). The biological management of tropical soil fertility. Chichester. John Willey & Sons. p. 137 - 170.

Lavelle, P.; Lattaud, C.; Trigo, D. and Barois, I. (1995). Mutualism and biodiversity in soils. *Plant and Soil* Vol. 170: 23-33.

Lavelle, P.; Bignell, D.; Legage, M.; Volters, V.; Roger, P.; Ineson, P.; Heal, B. y Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of soil ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33 (4): 159-193.

Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Charpentier, F.; Gilot, C.; Rossi, J.P.; Derouard, L.; Andre, J.; Ponge, J.F. and Bernier, N. (1998). Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. In: Edwards, C.A. (ed). *Earthworm ecology*, London, St Lucie p 103 - 122..

Lavelle, P.; Barois, I.; Blanchart, E.; Brown, G.; Brussaard, L.; Decaens, T.; Fragoso, C.; Jiménez, J.; Kajondo, K.; Martínez, M.; Pashanasi, B.; Senapati, B. and Villenave, C. (1999a). Las lombrices como recurso en los agrosistemas tropicales. *La Naturaleza y sus Recursos*, Vol. 34 (1): 42 - 43.

Lavelle, P.; Brussaard, L. and Hendrix, P. (1999b). *Earthworms management in tropical agroecosystems*. New York, Cabi Publishing. 300 p.

Lee, K. E. (1983). Earthworms of tropical regions: some aspects of their ecology and relationships and soil. In J. E. Satchell (Ed.). *Earthworm ecology*. Chapman and Hall, New York. 445 p.

Lee, K. E. (1985). *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic press, London. P 411.

Legarda, B.; Mora, E. y Blasco, L. (1973). Relaciones entre algunas características de los suelos y los pisos altitudinales de Nariño, Colombia. *Turrialba* vol 23 (1): 97 - 103.

Ludwig, J. A. and Reynolds, J. F. (1988). *Statistical Ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley & Sons, New York, USA. 337 p.

Luna, C. Z. (1972). Caracterización físico - química de algunos suelos volcánicos del departamento del Cauca, Colombia. En: Blasco, M. y Guerrero, R. (Eds). Segundo panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Instituto de Ciencias Agrícolas y Universidad de Nariño.

- Lunt, H. A. and Jacobson, H. G. (1944). The chemical composition of earthworm cast. *Soil Science (USA)*, vol. 58: 367-375.
- Madge, D. S. (1965). Leaf fall and litter disappearance in a tropical forest. *Pedobiologia* 5: 273-288.
- Madge, D. S. (1969). Field and laboratory studies on the activities of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia* 9: 119-129.
- Martini, J. A. & Luzuriaga, C. (1989). Classification and productivity of six Costa Rican Andepts. *Soil Science*, 147: (326-338).
- May, R.M. (1978). The dynamics and diversity of insect faunas. **In**: Mound, L. A. and Waloff, N.(Eds). *Diversity of insect Faunas*. p 188-204.
- Meléndez, A.; Amézquita, E. y Sanz, J.I. (1998). Efecto de tres tamaños de agregados de suelos en los Llanos Orientales en la respuesta de la fertilización nitrogenada del pasto *Brachiaria*. En: *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Memorias Manejo de Suelos e impacto ambiental*. p 248-253.
- Mckean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Documento de trabajo No. 129. CIAT.
- Mele, P. and Carter, M. (1999). Species abundance in arable and pasture soil in south-eastern Australia. *Applied Soil Ecology* 12: 129-137.
- Michaelsen, W. (1900). Die terricolen Fauna columbiens. *Naturgesch*, 66: 231 - 266.
- Michaelsen, W. (1910). Oligochaeten von verschiedenen Gebieten. *Mitt. Mus. Hamb.*, 27: 47 - 169, 1910.
- Michaelsen, W. (1913). Die oligochaten Columbias. **In**: Fuhrmann O. et Mayor, E. "voyage D'exploration scientifique en Colombie. Ed. Mem. Soc. neuchat. Sci nat., 5: 202 - 252.
- Michaelsen, W. (1918). Die lumbriciden, mit besonderer Berücksichtigung der bisher als familie Glossoscolecidae zusammengefaßten unterfamilien. *Zool. Jb. Syst.*, 41: 1 - 398.
- Molano, J. (1992). Las regiones tropicales americanas: visión geográfica de James Parsons Bogotá, FEN.
- Monnier, G. (1992). L'activite des vers de terre du point de vue de la physique du sol. *Soil Biol. Biochem*, 24: 112, 1197-1200.
- Moreno, A. G. (1978). Estudio de las lombrices de tierra (Lumbricidae y Megascolecidae) de una zona de la Ciudad Universitaria de Madrid. Tesina de Licenciatura - 60 páginas. Universidad Complutense. Madrid.

- Moreno, A. G. (1981). Estudio de algunas poblaciones de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Lumbricidae, Megascolecidae y Glossoscolecidae) de los alrededores de Madrid. Tesis Doctoral Universidad Complutense, Madrid. 294 p.
- Muller, K. et al. (1992). Prácticas de conservación de suelos en sistemas de producción de yuca en laderas. CIAT, 11 p.
- Mulongoy, K. and Merckx, R.. (1992). Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. New York, USA: John Wiley.
- Nemeth, A. (1981). Estudio ecológico de las lombrices de tierra (Oligochaeta) en ecosistemas de bosque húmedo tropical en San Carlos de Río Negro, territorio Federal Amazonas, Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela. 92 p.
- Neuhauser, E. F.; Harteinstein, R.; Connors, W. J. (1978). Soil invertebrates and the degradation of vanillin, cinnamic acid, and lignins. *Soil Biol. Biochem.* 10: 431-435.
- Olson, R.K. and Francis, C.A. (1995). Exploring the role of diversity in sustainable agriculture. In: Olson, R.K., Francis, C.A., and Stephen Kaffka (Eds.). Madison. 249 p.
- Paoletti, M. (1999). The role of earthworms for assesment of sustainability and as bioidicator. *Agric. Ecos. And Env.*, 17 : 137-155.
- Parmelee, R.W.; Bohlen, P.J. and Blair, J.M. (1998). Earthworm and nutrient cycling processes: integrating across the ecological hierarchy. In: Edwards, C.A. (ed). *Earthworm ecology*, London, St Lucie p 123 – 143.
- Parr, J.F.; Papendick, S.B.; Hornick, S.B and Meyer, R.E. (1992). Soil quality: atribute and relationship to alternative and sustainable agricultural. *Am. J. Alternative Agric.* Vol. 7 (1, 2).
- Perera, A. H. (1992). Ecological implications of establishing pine plantations in the Central region of Sri Lanka. In: Singh, K.P. and Singh, J. S. (eds). *Tropical Ecosystems: Ecology and management*. P 409 – 414.
- Pianka. E. (1974). Niche overlap and diffuse competition. *Proc. Nat. Acad. Sci.* Vol. 71 (5): 2141–2145.
- Pianka, E. (1982). *Ecología evolutiva*. Barcelona. Omega. 364 p.
- Pianka, E. (1994). *Evolutionary ecology*. New York, fifth edition. Harper Collins College Publishers. 486 p.
- Prance, G.T. (1973). Phytogeography support for the theory of pleistocene forest refugees in the Amazon Basin, based on evidence of distribution pattern in Caryocaraceae, Chrisobalanaceae, Dichapetalaceae, and Lecythidaceae. *Acta Amazonica*. Vol. 3, 5 –28.

Pop, V. V. (1997). Earthworm-vegetation-soil relationships in the Romanian Carpathians. *Soil Biol. Biochem.* 29(3-4): 223-230.

Rangel, J. O. y Aguilar, M. (1994). Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia. En Rangel, J. O. Colombia diversidad biótica I. Bogotá, Ed Guadalupe Ltda. P. 25-76.

Reinecke, A.J. and Venter, J.M. (1987). Moisture preference, growth and reproduction of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Biol. Fertil Soils* 3: 135-141.

Righi, G. (1972). Bionomic consideration upon the Glossoscolecidae (Oligochaeta). *Pedobiología*. Vol.12: 254 – 260.

Righi, G. e De Araujo, L. D. (1979). Nova contribuicao ao genero Glossoscolex com sinopse do grupo giganteus (Oligochaeta, Glossoscolecidae). *Rev. Bras. Biol.*, 39 (4): 947 - 959.

Righi, G. (1984). On some earthworms (Oligochaeta, Glossoscolecidae) from the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). In: Hamman, T. Van der & Ruiz, P. M.: Studies on Tropical Andean Ecosystems, 2: 455 - 468, Ed. J. Cramer, Berlin.

Righi, G. (1995). Colombian earthworms. In: T. van der Hammen & A.G. dos Santos (eds). Studies on tropical Andean Ecosystems/Estudios de Ecosistemas Tropandinos 4. Berlín: Cramer. p 485-607.

Righi, G. & Van Der Hammen, T. (1995). Distribución de especies de lombrices en las dos vertientes de la cordillera Central (transecto Parque de Los Nevados, Colombia). In: T. van der Hammen & A.G. dos Santos (eds). Studies on tropical Andean Ecosystems/Estudios de Ecosistemas Tropandinos 4. Berlín: Cramer. p 445 –483.

Ricardi, H. M. (1984). Compendio de evolución biológica y geológica. Mérida, Talleres gráficos Universitarios. 423 p.

Rombke, J.; Meller, M. and García, M. (1999). Earthworm densities in central Amazonian primary and secondary forest and polyculture forestry plantation. *Pedobiologia* 43 (6): 518-522.

Ruppenthal, M. (1995). Soil conservation in Andean cropping systems. Weikersheim: Margraf Verlag, 110 p.

Sánchez, E. G.; Muñoz, B.; Garvín, M. H.; Jesús, J. B. and Díaz, D. J. (1997). Ecological preferences of some earthworm species in southwest Spain. *Soil Biol. Biochem.* 29(3-4): 313-316.

SAS Institute. (1990). SAS User's Guide. SAS Institute, Inc. Raleigh, NC.

Satchell, J. E. (1967). Lumbricidos. In: Burges, A. and Raw, F. (eds). *biología del suelo*. London Academic press. p. 307 - 378.

Satchell, J. E. (1971). Earthworms. In: Phyllipson, J. *Methods of study in quantitative soil ecology population production and energy flow* Oxford: Burges and Sons. p. 107 - 127.

Scheu, S. (1990). Changes in microbial nutrients status during secondary succession and its modification by earthworms. *Oecologia*, 84: 351-358.

Seasted, T. R. (1984). The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annu. Rev. Entomology*, 29: 25-46.

Senapati, B. K. (1980). Aspects of ecophysiological studies on tropical earthworms (distribution, population dynamics, production, energetics and their role in the decomposition process). Ph.D. thesis. School of Life Science, Sambalpur University, India. P 154.

Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.

Sims, R.W. (1980). A classification and the distribution of earthworms, suborder Lumbricina (Haplotaxida: Oligochaeta). *Zoology series*, Vol 39 (2): 103 - 124.

Shipitalo, M and Protz, R. (1989). Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworms casts. *Geoderma*, 45, 357-374.

Southwood, T.R.E. (1978). *Ecological methods*. London, Chapman and Hall.

Sparling, G. (1992). Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil. Res.* 30: 195-207.

Stork, N.E. & Eggleton, P. (1992). Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American J. alternative agriculture*, 7 (1): 38-55.

Subler, S.; Baranski, C. M. and Edwards, C.A. (1997). Earthworm additions increased shortterm nitrogen available and leaching in two grain-crop agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 29: 413-421.

Swaby, R. (1949). The influence of earthworms on soil aggregation. *J. Soil. Sci.* 1, 195-197.

Tian, G.; Kang, B. T. and Brussaard, L. (1997). Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biol. Biochem.* 29(3-4): 369-374.

Tisdall, J. M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soil. *Plant and soil*. 159, 115-121.

Tisdall, J. M. & Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of soil Science*. 33: 141-163.

Tian, G.; Brussaard, L.; Kang, B.T. and Swift, M.J. (1997). Soil fauna mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: Cadish, G. and Giller, K.E. (eds). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Wallingford: CAB International, . P 125-134.

Tilman, D.; Wedin, D. & Johannes, K. (1996). Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* . Vol. 379: 718 – 720.

Tokeshi, M. (1993). Species abundance patterns and community structure. *Advances in Ecological Research*, 24: 111-186.

Urbano, P.; Rubiano, J.; Bell, W. B. y Knapp, E. B. (1995). Cambios en el uso de la tierra como posible indicador de un desarrollo sostenible en una zona de Laderas -Subcuenca del Río Cabuyal, Cauca, Colombia. Doc. presentado en el IV Congreso AESIG, Barcelona. 22 p.

Van Der Hammen, T. (1997). Prólogo. En: Rangel, J.O. (Ed.). *Colombia diversidad biótica I*. Santafé de Bogotá, Ed. Guadalupe Ltda.. 442 p.

Viljoen, S.A. and Reinecke, A.J. (1990). Moisture preference, growth and reproduction of the African nightcrawler, *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *S. Afr. J. Zool.* 25: 255-160.

Walpole, R.E. y Myers, R.H. (1992). Probabilidad y estadística. Maldonado, G. (Traducción). McGraw-Hill, 4a ed, Bogotá. 797 p.

Wallwork, J. A. (1976). The distribution and diversity of soil fauna. London, Academic Press, 331 p.

Whittaker, R. H. (1965). Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 147: 250-260.

Woomer, P.L. and Swift, M.J. (1994). The biological management of tropical soil fertility. New York, USA: John Wiley.

Yaalon, D. H. (1996). Soil science in transition: soil awareness and soil care research strategies. *Soil Sci.* vol 161 (1): 3-8.

Zhang, H. and Shrader, S. 1993. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. *Bio. Fertil Soils*, 15, 229-234.

Zou, X. and González G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pasture. *Soil Biol. Biochem* 29 (3-4): 627-629.

Zicsi, A. 1962. Determination of number and size of sampling unit for estimating lumbricid populations of arable soils. In progress in Soil Zoology. London, Butterworths. p. 68-71.

Zicsi, A. (1988a). Neue Andiodrilus - Arten aus Kolumbien (Oligochaeta: Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 5. *Revue Suisse Zool.*, 95 (3): 715 - 722.

Zicsi, A. (1988b). Beiträge zur Kenntnis einiger Martidrilus -Arten aus Ekuador (Oligochaeta: Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 6. *Rev. Suisse Zool.* 95 (4): 953 - 959.

Zicsi, A. (1989a). Über drei neue Andiodrilus - Arten aus Ecuador (Oligochaeta: Glossoscolecidae) (Regenwurm aus Sudamerika 12). *Revue Suisse Zool.*, 95: 715 - 722.

Zicsi, A. (1989b). Über zwei Periscollex - Arten aus dem Anden - Gebiet Kolumbiens und Ekuadors (Oligochaeta: Glossoscolecidae) (Regenwurm aus Sudamerika 10). *Revue Suisse Zool.* 96 (1): 19 - 24.

Zicsi, A. (1989c). Weitere neue Glossodrilus - Arten aus Ekuador (Oligochaeta: Glossoscolecidae), regenwurm aus Sudamerika 9. *Acta Zool. Hung.* 35 (1 - 2): 165 - 190, 1989.

Zicsi, A. (1990). Weitere neue und bekannte Onoreodrilus - Arten aus Ekuador (Oligochaeta, Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 14. *Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst.*, 87: 149 - 155.

Zicsi, A. (1992). Über weitere neue und bekannte Arten der Gattung Periscollex (Oligochaeta: Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 16. *Revue Suisse Zool.* 99: 211 - 217.

Zicsi, A. (1993). Revision der Gattung Andiodrilus Michaelsen, 1900 (Oligochaeta, Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 17. *Acta Zoologica Hungarica*, Vol 39 (1-4): 311-342.

Zicsi, A. und CSUZDI, C. S. (1988). Über einige Thamnodrilus - Arten und andere Regenwurm aus Ekuador (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae) Regenwurm aus Sudamerika, 3. *Opusc. Zool. Budapest*, 23: 209 - 218.

Zicsi, A. und Feijoo, M. A. (1993). Regenwurm aus der Zentral Kordillere Kolumbiens (Oligochaeta, Glossoscolecidae) Regenwurm aus Sudamerika 21. *Mit. Hamb. Zool. Mus.* Vol 23 (2): 55-62.

9. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de la diversidad de la vegetación y macrofauna de los diez sitios de la subcuenca del río Cabuyal

Sitio I. Selva Secundaria

Vegetación: *Hediosmun* sp, *Palicourea* sp 1, *Palicourea* sp 2, *Palicourea* sp 3, *P. obesiflora*, *P. congesta*, *Solanoides* sp, *Clidemia hyrta*, *Miconia minutiflora*, *M. rubiginosa*, *Acalifa diversifolia*, *Calea glomerata*, *Vismia baccifera*, *Chamaerodea brebifons*, *Laciacis sorghoidea*, *Crotom* sp, *Cacedalia silvestris*, *Dyapteris* sp, *Piper aduncum*, *Anthurium cordatum*, *Anthurium* sp, *Palicourea coerulea*, *Hyptis paniculata*, *Calea glomerata*, *Pteridium* sp, *Filodendrum* sp, *Rhynchospora* sp, *Clavyya lancifolia*, *Miconia minutiflora*, *M. lepidota*, *Callaponia* sp, *Piper crassinervium*, *Chamaerodea* sp, *Cecropia eximia*, *Eugenia* sp, *Myrcinae ferruginea*, *Dioscorea* sp, *Sauria* sp, *Stigmaphilum*, *Cyperus* sp, *Anthurium caucanum*, *A. giganteum*, *Clarisia caucana*, *Mimosiopsis quitensis*, *Gonzalagia cornifolia*, *Myrica popayanensis*, *Clibadium surinanensis*, *Besleria solanoides*, *Duranta* sp, *Cococicelum* sp, *Fitonia* sp, *Urera baccifera*, *Vismia baccifera*, *Laciacis sorghoidea*, *Maripa* sp, *Elaegia* sp.

Sitio II. Selva de 40 Años

Vegetación: *Miconia lepidota*, *M. stenotachia*, *Miconia* sp, *Miconia rubiginosa*, *M. albicans*, *Koheleria* sp, *Cavendishia* sp, *Palicourea* sp, *Aegiphila* sp, *Philodendrum* sp, *Tectaria* sp, *Melochia lupulina*, *Paspalum sacharoides*, *Ditasa* sp, *Scleria floribunda*, *Vernonia brasiliensis*, *Licaria* sp, *Croton junckianus*, *Hyptis conjerta*, *Cocosipselum hirsutum*, , *Myrsinia guianensis*, *Sobralia* sp,

Rinchospora sp, *Anaemia* *bellosa*, *Eupatoprium* *amigdalinum*, *Baccharis* sp, *Muehlenbergia* *emerskeyi*, *Palicourea* *augustifolia*, *Lacistema* *purpurea*, *Rhynchospora* *aristata*, *Quercus* *humboldtii*, *Laciadis* *sorghoides*, *Miconia* *lepidota*, *Miconia* sp, *Acotea* sp, *Palicourea* sp, *Aegiphila* sp, *Philodendrum* sp, *Tectaria* sp, *Monozia* sp, *Myrcinae* sp, *Chamaerodea* *brebifons*, *Hediosmun* sp, *Serjania* *paniculata*, *Paulinea* sp, *Anthurium* *myceouroides*.

Sitio III. Selva de más de 40 años

Polipodium *percusu*, *Danaea* *grandifolia*, *Dicanopteris* sp., *Cavendishia* *quereme*, *Rhynchospora* *aristata*, *Palicourea* sp, *P. augustifolia*, *P. obesiflora* *P. congesta*, *Myrcinia* *ferruginea*, *Lacistema* *purpurea*, *Quercus* *humboldtii*, *Laciadis* *sorghoides*, *Hediosmun* sp, *Solanoides* sp, *Miconia* sp, *M. minutiflora*, *M. lepidota*, *Callaponia* sp, *Piper* *crassinervium*, *Chamaerodea* sp, *Acotea* sp, *Cavendishia* sp, *Palicourea* sp, *Aegiphila* sp, *Philodendrum* sp, *Tectaria* sp, *Monozia* sp, *Myrcinae* sp, *Sauria* sp, *Cyperus* sp, *Chamaerodea* *brebifons*, *Myrica* *popayanensis*, *Hediosmun* sp, *Serjania* *paniculata*, *Paulinea* sp, *Anthurium* *myceouroides*, *Besleria* *solanoides*

Sitio IV. Barbecho

Vegetación: *Pteridium* *aquilinum*, *Eupatorium* *odoratum*, *E. inulaefolium*, *Myrica* *pubescens*, *Hypochaeris* *radicata*, *Miconia* sp 1, *Delostoma* *roseum*, *Hyptis* *brachiata*, *Polopogon* *elongatus*, *Sida* *acuta*, *Axonopus* *affinis*, *Pectis* *bonplandiana*, *Hypochaeris* *rabicata*, *Aegopogon* *cenchroides*, *Cuphea* *racemosa*, *Miconia* *versicolor*, *M. micrantha*, *Naphalium* *spicatum*, *Richordia* *seabra*, *rubus* *urticaefolius*, *Marcipiantes* *chamaedris*, *Hyptis* sp, *H. artroruberis*, *Austroeupatorium* *inulaefolium*, *Hyptis* sp 2, *Sporobolus* *purpuracens*, *Clidemia* sp, *Ayapana* *migdalina*, *Budleia* sp, *Pteridium* sp, *Befaria* sp, *Panicum* sp, *P. purchelum*, *Rinchospora* *blefarofora*, *Pectis* *graveoleus*.

Sitio V. **Café Tradicional**

Vegetación: platano, banano, cítricos, guayaba, piña y leguminosas (*Inga sordida* y acacia), *Spermacoce assurgens*, *Pseudochinolaena polystachia*, *Nectandra sp.*, *Maytenus novogranatensis*, *Erechtites valerianaefolia*, *Melochia lupulina*, *Paspalum pictum*, *Pteridium sp.*, *Eugenia jambos*, *Monina sp.*, *Hypoxis decumbens*, *Rivina humilis*, *Panicum viscedellum*, *Sida rhombifolia*, *Sida linnifolia*, *S. spinosa*, *S. acuta*, *Merremia umbellata*, *Salvia splendens*, *Phyllanthum niruri*, *Spermacoce capitata*.

Sitio VI. Plantación de *Pinus patula*

Mimosasis quitensis, *Clidemia sp.*, *Sporobolus purpuracens*, *Cuphea racemosa*, *Hyptis brachiata*, *Paspalum costaricensis*.

Sitio VII. **Cultivo de Yuca Asociada con Maíz y frijol**

Rhynchospora barbata, *Pteridium aquilinum*, *Bochocaprismatica*, *Anemia bellosa*, *Clidemia hirta*.

Sitio VIII. Pastizal de *Pennisetum clandestinum*

Vegetación: *Cuphea racemosa*, *Clidemia sp.*, *Paspalum costaricensis*, *Hypochaeris rabicata*, *Desmodium sp.*, *Polipogon elongatus*, *Sida acuta*.

Sitio IX. **Pastizal de *Melinis minutiflora***

Vegetación: *Desmodium barbatum*, *Pteridium*, *Hyptis capitata*, *Melochia colombiana*, *Stachitargeta jamaicensis*, *Homolepis atoresis*, *Conisa bonariensis*, *Stylosantes guyanensis*

Sitio X. Pastizal de *Brachiaria humidicola*

Hyptis capitata, *Polygala paniculata*, *Miconia stenotachia*, *Turnera ulmifolia*, *Melochia pyramidata*, *Coniza bonariensis*, *Pteridium* sp, *Clidemia hirta*, *Boehmeria prismatica*, *Aechinomene virginica*, *Bocopa* sp, *Anemia bellosa*, *Cuphea racemosa*, *Baccharis tricuneata*, *Paspalum pilosum*, *Rhynchospora barbata*, *Eleocharis filiculis*, *Andropogon bicornis*, *Emilia sonchifolia*, *Ageratum conyzoides*, *Hemidiodia acymifolia*, *Pseudoelephantopus spiralis*, *Waltheria americana*, *Spermacoce asurgens*, *Cuphea micrantha*.

Anexo 2. Ocurrencia de lombrices de tierra en Colombia

Cuadro 31. Especies de lombrices de tierra de Colombia

Familias	Región	A.S.N.M.	Zona Vida	Referencia
Especies				
GLOSSOCOLECIDAE				
<i>Periscolex fuhrmanni</i>	Cord. Oriental (Cruz verde), Cord.	1150, 3600	Z.V.S., Z.V.P	Michaelsen, 1913; Feijoo (sin publ.)
<i>P. vialis</i>	Cord. Central (Guaduas – Sensitiva)	1000	Z.V.E.	Michaelsen, 1913
<i>P. columbianus</i>	Cord. Oriental (Bogotá)	3000	Z.V.A.	Michaelsen, 1900
<i>P. longituberculatus</i>	Cord. Oriental (Alto Belen)		Z.V.P.	Zicsi, 1989
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Cord. Central (Medellín, Palmira, El Cerrito),	50 – 1800	Z.V.E.,	Michaelsen, 1913, Feijoo, 1993
<i>Martiodrilus columbianus</i>	Cord. Central (Honda, Fresno, Facatativá,	1500	Z.V.S	Michaelsen, 1913
<i>M. bicolor</i>	Cord. Central (Medelín, Titiribí)	800, 1800	Z.V.E.,	Michaelsen, 1913
<i>M. purnio</i>	Cord. Central (Purnio, Honda)			Michaelsen, 1918
<i>M. hamifer</i>	Cord. Oriental (Villeta, Facatativá)	1000	Z.V.E.	Michaelsen, 1918
<i>M. monticola</i>	Cord. Oriental (Bogotá, Fusagasugá)			Michaelsen, 1918
<i>M. agricola</i>	Cord. Central (Palmira, Caldon, Silvia,	1500-3000	Z.V.S,	Feijoo, 1993, Zicsi y Feijoo, 1994
<i>M. heterostichon</i>	Valle Interandino (Palmira); Cord. Central	1000, 1500, 1700	Z.V.E.,	Feijoo, 1993
<i>M. gara</i>	Cord. Occidental (Novita, San José del	720, 1350, 1950,	Z.V.E.,Z.V.A	Righi, 1993
<i>M. euzonus</i>	Cord. Oriental (Siera Nevada Santa Marta,	500 – 1100, 1990,	Z.V.E.,	Righi, 198 , Feijoo, 1993; Zicsi y
<i>M. palmirus</i>	Cord Central (Palmira, Valle)	1500, 2040, 2190	Z.V.S	Feijoo, 1993; Zicsi y Feijoo, 1994
<i>M. psikakao</i>	Cord. Central (Cartagena?, Risaralda)	1000	Z.V.E.	Righi, 1995
<i>M. agilis</i>	Cord. Oriental (Fusagasugá, C/marca)			
<i>M. olivaceous</i>	Cord. Central	3970 – 4300	Z.V.P.	James, 1990
<i>M. carimaguensis</i>	Llanos Orientales (Carimagua)	175	Z.V.E.	Jimenez , et al, 1995; Jimenez y
<i>M. (Cordiller.)crassus</i>	Cord. Central (Medellín, Amagá)	1600	Z.V.S	Michaelsen, 1913
<i>Maipure ecuadoriensis</i>	Cord. Oriental (Honda, Titiribí, Páramo	800, 1800, 3550,	Z.V.E.,	Benham, 1892; Zicsi, 1988; Feijoo,
<i>Andiodrilus bogotaensis</i>	Cord. Central (Honda, Guaduas, Bogotá)	800, 1600, 2800	Z.V.E.,	Michaelsen, 1913
<i>A. ruizanus</i>	Cord. Central (Honda)	1515	Z.V.S	Michaelsen, 1913
<i>A. pachonsis</i>	Cord. Oriental (Bogotá, pacho, Zipaquirá,	2000-2200, 1500-	Z.V.S,	Michaelsen, 1900
<i>A. mayor</i>	Cord. Oriental Andina (Fusagasuga)			Michaelsen, 1900b, 1918
<i>A. schütti</i>	Cord. Oriental (B/manga), Cord. Central	2600 – 2700, 2660,	Z.V.A.,	Michaelsen, 1895, Rosa, 1896

<i>A. affinis</i>	Cord. Oriental (Bogotá, Sibate, Páramos de	2800, 3150 – 3200,	Z.V.A.	Michaelsen, 1900
<i>A. vaucheri</i>	Cord. Oriental (Páramo La Rusia)		Z.V.P.	Zicsi, 1988c
<i>A. argous</i>	Cord. Oriental (Sierra Nevada S. Marta)	1100 – 3300	Z.V.S,	Righi, 1984
<i>A. patoko</i>	Cord. Central (Santa Rosa de Cabal)	3185, 3335	Z.V.A.,	Righi, 1995
<i>A. baruka</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	3650	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>A. barbacoa</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	3315, 3650	Z.V.A.,	Righi, 1995
<i>A. katio</i>	Cord. Central (Santa Rosa de C, Risaralda)	1725 - 2700	Z.V.S,	Righi, 1995
<i>A. mocoa</i>	Cord. Central (Santa Rosa de C, Risaralda)	2940 - 3325	Z.V.A.	Righi, 1995
<i>A. paramensis</i>	Cord. Oriental (Pár Chisacá, C/marca)	3720	Z.V.P.	Zicsi, 1988c
<i>A. sturmi</i>	Cord. Oriental (Alto Belen, Boyaca)		Z.V.A.	Zicsi, 1988c
<i>A. talamank</i>	Cord. Central ((Santa Isabel, Tolima)	2700 y 3100	Z.V.A.	Righi, 1995
<i>A. terraba</i>	Cord. Central (Santa Rosa de Cabal)	3725	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>A. pixao</i>	Cord. Central (Santa Rosa de Cabal)	3550	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>A. xaropi</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	2700, 3940	Z.V.A.,	Righi, 1995
<i>A. kiri</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	2940, 3720	Z.V.A.,	Righi, 1995
<i>A. sambu</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	3500	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>A. cabalensis</i>	Cord. Central (Santa Rosa de Cabal)	2550	Z.V.A.	Righi, 1995
<i>A. michaelseni</i>	Cord. Oriental (B/manga)		Z.V.S	Zicsi, 1993
<i>A. graffi</i>	Cord. Oriental (Sabaneque, páramo San	3400	Z.V.A.	Zicsi, 1993
<i>A. yoparensis</i>	Llanos Orientales (Carimagua)	175	Z.V.E.	Jimenez , et al, 1995; Jimenez y
<i>Andiorrhinus (A.) tukuko</i>	Cordillera Central (Santa Isabel)	2530	Z.V.A.	Righi, 1995
<i>A. ofeliae</i>	Llanos Orientales (Carimagua)	175	Z.V.E.	Jimenez , et al, 1995; Jimenez y
<i>A. sp 1</i>	Cord. Central (Silvia, Cauca)	2200	Z.V.S	Feijoo, este estudio
<i>Bribri pipi</i>	Cord. Oriental (Sierra Nevada Sta Marta)	1100 - 4100	Z.V.S,	Righi, 1984
<i>B. yari</i>	Cordillera Central (Sta Isabel)	2020	Z.V.S	Righi, 1995
<i>Onychochaeta (e.) elegans</i>	Cordillera Central (Venadillo, Dpto Tolima),	710 1290	Z.V.E.,	Righi, 1995, Feijoo sin pub.
<i>Glossodrilus palenke</i>	Cord. Central (Pereira, Sta Rosa de Cabal,	4350, 4315, 3900 –	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>G. unguis</i>	Cod. Central (Venadillo, Tolima)	1150	Z.V.S	Righi, 1995
<i>G. hondaensis</i>	Cord. Central (Honda, Tolima)		Z.V.E.	Michaelsen, 1900; 1918
<i>G. yuko</i>	Cord. Occidental (Argelia, Valle Cauca)	1830 – 2140	Z.V.S	Righi, 1995
<i>G. kuna</i>	Cord. Central (Sta Isabel, Tolima)	2340	Z.V.S	Righi, 1995
<i>G. chami</i>	Cord. Central (Pereira, Risaralda)	2975	Z.V.A.	Righi, 1995

<i>G. paez</i>	Cord. Central (Santa Isabel, Tolima)	2020 – 3900	Z.V.S,	Righi, 1995
<i>G. panikita</i>	Valle Interandino (Cartago, dpto Valle)	1000	Z.V.E.	Righi, 1995
<i>G. totaritoensis</i>	Cord. Central (Sta Isabel, Tolima)	3650	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>G. pixao</i>	Cord. Oriental (C/marca, Boyacá)		Z.V.A.	Righi y García, 1989
<i>G. shütti</i>	Valle Interandino (Palmira, dpto Valle)	1000	Z.V.E.	Michaelsen, 1918
<i>G. saiija</i>	Cordillera Central (Santa Isabel)	1980 – 2350	Z.V.S.	Righi, 1995
<i>G. pan</i>	Sierra Nevada Santa Marta	700 - 1500	Z.V.E.,	Righi, 1984a
<i>G. lacteus</i>	Cord. Central (Palmira)	3120, 2500	Z.V.A.	Feijoo, 1993; Zicsi y Feijoo, 1994
<i>G. griseus</i>	Cord. Central (Palmira, El Cerrito)	2900, 3500, 3640,	Z.V.A.,	Feijoo, 1993; Zicsi y Feijoo, 1994
<i>G. sikuaní</i>	Llanos Orientales (Carimagua)	175	Z.V.E.	Jimenez, et al, 1995; Jimenez y
<i>Quimbaya cameliae</i>	Cord Occidental (San José del Palmar,	1830, 2100, 2140,	Z.V.S,	Righi, 1995
<i>Q. pakura</i>	Cord. Occidental (Argelia, Valle)	2140	Z.V.S	Righi, 1995
<i>Q. yumbo</i>	Cord. Occidental (Santuario, Risaralda)	3700, 3525	Z.V.P.	Righi, 1995
<i>Q. karrapa</i>	Cord. Occidental (Argelia, Valle)	1830, 1950	Z.V.S	Righi, 1995
<i>Q. michaelseni</i>	Cord Occidental (San José del Palmar, Choco)	1100, 1350	Z.V.S	Righi, 1995
<i>Q. pepare</i>	Cord. Central (Venadillo, Tolima)	1290	Z.V.S	Righi, 1995
<i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	Cord. Central (Medellín, Palmira)	2080 – 3400, 1800	Z.V.S,	Michaelsen, 1913; Feijoo, 1993
<i>A. uncinatus</i>	Cord. Central (Palmira)	1500	Z.V.S	Michaelsen, 1910, Zicsi, 1997
<i>Onoreodrilus loksai</i>	Cord Central (Palmira)	2000, 2800, 3200,	Z.V.S,	Feijoo, 1993, Zicsi y Feijoo, 1994
<i>O. benavidesi</i>	Cord. Central (Palmira, El Cerrito, Caldon)	2220, 2600 2500,	Z.V.S,	Feijoo, 1993, Zicsi y Feijoo, 1994;
<i>Tairona adrianae</i>	Cord. Oriental (Sierra Nevada Santa Marta)	900–1300, 2100-2700	Z.V.E.,	Righi, 1984
TUMAKIDAE				
<i>Tumak hammeni</i>	Cord. Central (Venadillo, Tolima)	1150, 1290, 1670	Z.V.S	Righi, 1995
OCTOCHAETIDAE				
<i>Dichogaster modiglianni</i>	Cord. Central (Medellín)	800	Z.V.E.	
<i>D. bolau</i>	Cord. Central (Honda, Tolima)	800, 1000	Z.V.E.	Michaelsen, 1913
<i>D. affinis</i>	Cord. Central (Honda, Purnio, Tolima)		Z.V.E.	Michaelsen, 1900
<i>D. annae</i>	Valle Interandino (Palmira, Valle)	1000	Z.V.E.	Feijoo, 1993
<i>D. medellina</i>	Cord. Central (Medellín, Antioquia, Palmira,	1640, 2500, 2600	Z.V.S ,	Michaelsen, 1913
MEGASCOLECIDAE				
<i>Amyntas corticis</i>	Cord. Central (Palmira, El Cerrito, Valle;	1100 – 3600	Z.V.S,	Feijoo, 1993
<i>A. gracilis</i>	Pacífico (Buenaventura), Cord. Central	50 – 2200	Z.V.E.,	Feijoo, 1993

<i>Polypheretima elongata</i>	Valle Interandino (Palmira, Guacarí, El	1000	Z.V.E.	Feijoo, 1993
OCNERODRILIDAE				
<i>O. (Hyogenia) calwoodi</i>	Cord. Central (Medellín, Antioquia)	1800	Z.V.S	Michaelsen, 1913
<i>Eukerria</i> sp 1	Cord. Central (El Cerrito)	2500	Z.V.A.	Feijoo, 1993
LUMBRICIDAE				
<i>Eisenia fetida</i>	Valle Interandino (Palmira, Cali)	100 -3600	Z.V.E.,	Feijoo, 1993, este estudio
<i>E. roseus</i>				
<i>Dendrodrilus (r.) tenuis</i>	Cord. Central (El Cerrito, Valle)	3000	Z.V.A.	Feijoo, 1993
<i>Dendrobaena octaedra</i>	Cord. Central (El Cerrito, Valle)	3000	Z.V.A.	Feijoo, 1993
<i>Eiseniella tetraedra</i>	Cord. Central (El Cerrito, Valle)	2800, 3000	Z.V.A.	Feijoo, 1993
<i>Bismastus constrictus</i>				
<i>Allolobophora rosea</i>	Cord. Central (Cerrito)	3000	Z.V.A.	Feijoo, 1993
<i>A. caliginosa</i>	Cord. Oriental (Bogotá)	2600	Z.V.A.	Prince y Fajardo, 1975
<i>Lumbricus rubellus</i>	Cord. Oriental (Bogotá)	2600	Z.V.A.	Prince y Fajardo, 1975; Feijoo, 1993
<i>Octolasion lacteum</i>	Cor. Oriental (Bogota), Cord. Central	2600, 3000	Z.V.A.	Prince y Fajardo, 1975; Feijoo, 1993
EUDRILIDAE				
<i>Eudrilus eugeniae</i>	Valle Interandino (Palmira, Valle)	1000	Z.V.E.	Feijoo, 1993
ACANTHODRILIDAE				
<i>Diplocardia singularis</i>	Cord. Oriental (Bogotá)	2600	Z.V.A.	Prince y Fajardo, 1975; Feijoo, 1993
<i>Microscolex phosphoreus</i>	Cord. Central (El Cerrito)	2500	Z.V.A.	Feijoo, 1993
ALMIDAE				
<i>Drilocrius breymanni</i>	Cord. Central (Caldono, Cauca)	1100 – 1850	Z.V.S.	Feijoo este studio

Z.V.E: Zona de vida ecuatorial; Z.V.S.: Zona de vida subandina; Z.V.A.: Zona de vida andina; Z.V.P.: Zona de vida paramuna;

Cord.: cordillera.

Anexo 3. Listado de las unidades taxonomicas encontradas en los diez tipos de uso de la tierra

Orden, Familia, Subfamilia, Género, Especie	Sitio
Lombrices de tierra	
<i>Glossoscolecidae</i>	
<i>Martiodrilus heterostichon</i>	II
<i>Gen n sp n 2</i>	I, III, IV, VIII
<i>Martiodrilus agricola</i>	I, II, III, IV, VIII
<i>Maipure ecuadoriensis</i>	I, II, III, IV, V, VIII
<i>Glossodrilus sp 1</i>	I, II, III, IX
<i>Glossodrilus sp 2</i>	VI, VIII
<i>Onoreodrilus sp</i>	I
<i>Periscolex sp</i>	I, II, III, IV, IX
<i>Thamnodrilus sp1</i>	I, II, III, IV, VIII
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	II, V, VIII, IX, X
<i>Megascolecidae</i>	
<i>Amyntas corticis</i>	III, IV, VIII
<i>Amyntas gracilis</i>	II, V, VIII
<i>Octochaetidae</i>	
<i>Dichogaster sp 1</i>	VII
<i>Dichogaster sp 2</i>	I, II, V, IX
<i>Lumbricidae</i>	
<i>Dendrobaena octaedra</i>	VIII
<i>Almidae</i>	III
<i>Ocnerodrilidae</i>	I
<i>ISOPTERA</i>	
<i>Termitidae</i>	I, II, VIII, IX
<i>HYMENOPTERA</i>	
<i>Formicidae</i>	
<i>Ponerinae</i>	

<i>Hypoponera</i>	I, III, IV, VII, IX
<i>Gnamptogenys</i>	I, VI
<i>Pachycondyla</i>	IV, VI
<i>Ectatoma tuberculatum</i>	VIII, X
Dolichoderinae	
<i>Dolichoderus</i>	IX
<i>Linepithema</i>	IV, V, VIII
<i>Azteca</i>	II
Myrmicinae	
<i>Rhopalotrix</i>	I
<i>Tranopelta</i>	IX
<i>Pheidole sp 1</i>	VII, VIII
<i>Pheidole sp 2</i>	IX
<i>Cyphomyrmex</i>	I
<i>Procrpcerus</i>	II
<i>Solenopsis</i>	X
Formicinae	
<i>Acropyga</i>	V, VIII
<i>Paratrechina</i>	VII
<i>Componotus</i>	I, IX
Ecitoninae	I, III
<i>Labidus</i>	II
<i>Neivamyrmex</i>	VIII, IX

COLEOPTERA

Melolonthidae	I, II, III, IV, V, VI, X
Rutelinae	
<i>Cyclocephala sp</i>	V, X
<i>C. aff. amazonal</i>	V, VIII, X
<i>Dichotomius aff. Septentrionalis</i>	I, II, IV, V, VII, VIII, IX, X
<i>Heterogomphus chevrolati</i>	I, II, IV, IX

Melotinae	I
<i>Macraspis sp</i>	I
Tenebrionidae	I, VII
Staphylinidae	I, II, III, VIII, X
Lampyridae	I
Elateridae	I, II, III, IV
Scarabidae	I, II, V, VII, VIII, X
<i>Oxisternom conspicillatum</i>	I, II, III, IV, IX
Scaphidiidae	I, III
Curculionidae	I, V
Ptilodactylidae	I
Nitidulidae	I, II, III
Tenebrionidae	I, V
Carabidae II	
<i>Celenophorus sp</i>	I, X
Crisomelidae	
Casidinae	I
Passalidae	
Passalus sp	I, X

ARACHNIDA

Orthognatha	I, VI, X
Labidognatha	I, II, III, VIII, IX
Opilionidae	I, II, III, V, VI, VII, VIII
Pseudoescorpionida	I, II, III, IV, V, VI
Syarinidae	I, III
Escorpionida	I, III

MYRIAPODA

CHILOPODA	I, II, III, V
Geophilomorfa	I

Scolopendromorpha	I, II, III, V, VIII
DIPLOPODA	
Glomeridesmidae	I, II, II, V, VIII
Spirostreptidae	I, III
Polydesmidae	I, II, III
Sporobolidae	I, II, III, IV, V, VI
NEMATODA	
Mermithidae	I,
HOMOPTERA	
Cicadidae	II
HEMIPTERA	V
Cydnidae	II, IX
ORTHOPTERA	
Blattidae	I, II, III, V
Grillidae	I, II, III
CRUSTACEA	
Isopoda	I, II, III, V
Desconocido	I, III
DIPTERA	I, II, III, IV, V, VIII, IX, X
DERMAPTERA	
Forficulidae	I, II, III, V
MOLLUSCA	I, II, III
Hirudinida	I, III
PHASMODAE	I

Anexo 4. Abundancia (Individuos por 0.0625 m² x 0.25 x 0.3 m) de la macrofauna por muestreo

SITIO	MUESTRO	lond	lond	lond	colt	molit	dgat	snod	demd	lupd	snod	molit	colt	blast	lupd	snod	molit
1	1	40	74	1	26	75	2	14	4	9	11	0	0	0	0	0	0
1	2	25	231	1	8	92	12	32	16	137	6	2	0	1	2	0	0
1	3	39	72	226	20	47	17	282	9	3	50	0	0	0	0	2	0
1	4	2	1	0	8	30	1	9	6	0	0	0	0	1	0	1	0
1	5	5	8	0	14	73	29	5	11	19	12	2	0	0	1	4	0
1	6	1	54	43	4	22	3	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	7	4	57	1438	13	25	17	6	4	0	0	0	0	0	0	1	0
1	8	7	136	0	11	10	1	5	8	0	3	0	0	2	0	0	1
1	9	7	146	0	7	16	1	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	10	1	267	0	0	4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	47	116	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	7	264	4	33	4	6	4	1	3	0	1	0	0	0	0	0
2	3	28	1181	0	10	8	3	4	6	0	0	0	0	1	0	0	0
2	4	21	13	0	7	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
2	5	22	28	0	8	17	0	0	4	2	0	0	0	0	0	1	0
2	6	46	26	0	35	14	3	5	7	0	0	0	0	0	0	1	0
2	7	17	157	0	24	4	4	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0
2	8	40	4	0	20	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	9	7	0	0	14	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	13	25	0	3	4	9	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
3	1	4	62	0	14	9	0	8	3	0	4	0	0	1	0	0	0
3	2	25	7	0	6	10	1	12	4	0	0	0	0	1	0	0	0
3	3	0	10	0	9	46	2	18	15	3	6	0	0	1	0	0	0
3	4	11	125	141	7	33	2	14	7	0	13	0	0	3	0	1	1
3	5	3	2	0	2	11	4	6	4	3	0	0	0	0	0	0	0
3	6	7	83	0	19	36	30	5	13	1	5	0	2	0	0	0	0
3	7	5	2	0	4	19	2	4	6	2	1	0	0	1	0	0	0
3	8	0	1	0	11	33	3	8	15	0	0	0	0	0	0	2	9
3	9	5	51	0	10	10	4	6	9	1	0	0	1	0	0	0	0
3	10	8	23	0	3	24	1	8	0	2	0	0	3	0	0	0	0
4	1	12	4	58	9	10	1	1	4	6	2	0	0	1	0	0	0
4	2	143	410	0	2	3	2	4	4	0	1	0	0	1	0	1	0
4	3	65	1	0	5	7	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	9	3	0	2	8	0	1	8	0	1	0	0	0	0	0	2
4	5	2	175	0	2	7	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	6	8	25	0	10	0	6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	7	10	241	0	10	4	6	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0
4	8	4	1	0	17	1	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	9	2	1401	0	6	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	10	3	1	0	4	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	1	27	13	0	6	18	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	143	69	6	21	167	3	6	21	0	4	1	0	0	0	0	0
5	3	11	137	0	19	5	1	3	13	1	0	0	0	0	0	0	1
5	4	7	148	0	10	47	9	1	25	0	3	0	0	0	0	5	0
5	5	2	559	0	5	8	16	5	13	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6	25	3	0	8	7	4	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0
5	7	11	1	0	1	1	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	8	33	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	9	23	10	0	6	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
5	10	29	252	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	3	219	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2	1	46	0	3	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
6	3	4	8	0	0	14	0	1	0	15	0	0	0	0	0	0	0
6	4	4	1	0	1	8	1	4	8	1	2	0	0	1	0	0	0
6	5	3	3	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	1	0	0	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7	2	14	0	6	11	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	0	0	0	2	3	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
6	9	0	1	0	5	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	10	0	32	0	4	4	4	1	0	0	0	0	1	0	0	3	0
7	1	14	32	0	15	1	0	2	1	0	0	1	0	1	0	0	2
7	2	154	14	0	22	2	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	1
7	3	3	15	0	9	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
7	4	73	21	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	5	50	4	0	5	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	15	2	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	7	46	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8	26	9	0	5	4	0	8	1	0	2	0	0	0	0	0	2
7	9	9	19	0	9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	10	8	20	0	7	0	0	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0
8	1	37	37	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	102	2	0	8	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3	28	35	0	10	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
8	4	25	345	0	3	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	9
8	5	30	98	0	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	13	78	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	11	85	0	12	1	2	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0
8	8	10	65	0	13	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0
8	9	11	1	0	0	33	0	11	0	0	0	0	0	2	0	0	0
8	10	7	28	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
9	1	69	755	0	14	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
9	2	13	410	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	3	7	560	3	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9	4	13	321	0	9	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	36	386	0	22	0	0	0	4	1	0	0	0	1	0	0	0
9	6	2	100	0	14	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	7	5	240	0	8	1	1	17	21	2	0	0	0	4	0	0	0
9	8	0	189	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	9	12	397	0	19	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	10	1	300	0	7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	39	14	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	33	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	6	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4	51	37	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	5	0	43	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	6	37	108	77	9	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	7	5	105	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	26	1	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	0	463	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SIT0	L0MB	H0RB	TERMB	COLEB	MIRAS	DIPB	ARAB	DERMB	LEPB	ISOPB	MOLB	CRUSB	BLATB	HIRB	SEUB	Nematod
1	2.416	0.186	0.002	0.003	0.003	0.008	0.206	0.161	0.129	0.369	0	0.077	0	0.125	0	0
1	0.407	0.917	0.001	29.639	0.105	0.092	0.105	0.111	0.195	0.034	0.005	0	0.168	0	0.001	0
1	3.854	0.108	1.217	0.65	0.824	0.185	1.443	0.051	0.03	0.021	0	0	0	0	0.05	0
1	0.012	0.003	0	0.624	0.533	0.036	0.117	0.167	0	0	0	0	0.162	0.116	0.003	0
1	0.037	0.025	0	0.047	0.789	0.061	0.018	0.087	0.22	0.298	0.008	0	0	0	0.008	0
1	0.357	0.045	0.009	0.088	0.171	0.007	0.072	0	0	0	0.015	0.006	0	0	0	0
1	0.149	0.061	6.75	0.095	0.143	0.015	0.019	0.291	0	0	0	0	0	0	0.003	0
1	0.13	0	0	0.037	0.007	0.007	0.036	0.23	0	0.216	0.023	0.579	0	0	0	0.00125
1	0.357	0.086	0	0.101	0.472	0.011	0.013	0	0	0.014	0	0.023	0	0	0	0
1	0.009	0.111	0	0	0.021	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7.872	0.037	0	1.388	0.032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.781	0.073	0.014	1.083	0.016	0.014	0.008	0.003	0.004	0	0.002	0	0	0	0	0
2	3.169	1.014	0	0.947	0.025	0.011	1.675	0.066	0	0	0	0	0.667	0	0	0
2	4.547	0.011	0	0.241	0.032	0.005	0	0	0.011	0	0	0	0	0	0	0
2	3.39	0.028	0	0.07	0.134	0	0	0.004	0.029	0	0	0	0	0	0.002	0
2	4.718	0.008	0	0.802	0.042	0.037	0.02	0.062	0	0	0.058	0	0	0	0.002	0
2	1.513	0.039	0	0.605	0.012	0.018	0.015	0.031	0.053	0	0	0	0	0	0	0
2	5.867	0.011	0	0.507	0.102	0.055	0	0.001	0.08	0	0	0	0	0	0	0
2	4.43	0	0	0.374	0	0.002	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10.007	0.029	0	0.177	0.149	0.041	0.04	0	0.026	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0.165	0.475	0	0.193	0	0.043	0	0.062	0	0	0.262	0	0
3	2.271	0.007	0	0.062	0.058	0.027	0.143	0.009	0	0	0	0	0	0.009	0	0
3	0	0.027	0	0.352	0.235	0.11	0.414	0.084	0	0.016	0	0.007	0.005	0	0	0
3	0.379	0.183	0.822	1.117	0.267	0	0.095	0.053	0.045	0.027	0	0.384	0	0.006	0.001	0
3	0.22	0.021	0	0.025	0.041	0.177	0.025	0.058	0.034	0	0	0	0	0	0	0
3	0.095	0.101	0	0.677	0.28	0.807	0.009	0.079	0.041	0.071	0	0.007	0	0	0	0
3	0.48	0.002	0	0.301	0.175	0.015	0.463	0.008	0.008	0.011	0	0	0.011	0	0	0
3	0	0	0	0.103	0.214	0.022	0.01	0.079	0	0	0	0	0	0	0.001	0
3	1.013	0.035</														

Anexo 6. Análisis de componentes de varianza para las variables abundancia y biomasa de lombrices de la Selva >40 años y Pastizal de *Pennisetum clandestinum*

Sitio = Selva >40 años

Clase	Niveles	Valores
TIEMPO	19	199507 199508 199509 199510 199511 199512 199602.199603 199604 199605 199606 199607 199608 199609 199610 199611 199612 199701 199702

Número de observaciones por grupo = 111

Procedimiento estimación de los componentes de varianza para la variable abundancia

Fuentes de Variación	GL	Tipo I SS	Tipo I MS
TIEMPO	19	120702.24634453	6352.74980761
Error	92	319733.14464646	3513.55104007
Total Corregido	111	440435.39099099	

Fuente	Cuadrado medio esperado
TIEMPO	$\text{Var}(\text{Error}) + 5.4879 \text{ Var}(\text{TIEMPO})$
Error	$\text{Var}(\text{Error})$

Componentes de Varianza	Estimado
$\text{Var}(\text{TIEMPO})$	517.35529642
$\text{Var}(\text{Error})$	3513.55104007

Procedimiento estimación de los componentes de varianza para la variable Biomasa

Fuente	DF	Tipo I SS	Tipo I MS
TIEMPO	19	859289.50391495	45225.76336394
Error	91	2510067.48826339	27583.15921169
Total Corregido	110	3369356.99217835	

Fuente	Cuadrado medio esperado
--------	-------------------------

TIEMPO $\text{Var (Error)} + 5.4879 \text{ Var(TIEMPO)}$

Error Var (Error)
 Componente de Varianza Estimado

Var(TIEMPO) 3214.81356118

Var(Error) 27583.15921169

Sitio = Pastizal

Clase	Niveles	Meses
TIEMPO	19	199507 199508 199509 199510 199511 199512 199602 199603 199604 199605 199606 199607 199608 199609 199610 199611 199612 199701 199702

Número de observaciones por grupo = 108

Procedimiento estimación de los componentes de varianza para la variable abundancia

Fuente	GL	Tipo I SS	Tipo I MS
TIEMPO	18	467944.89074074	25996.93837449
Error	89	1170628.40555556	13153.12815231
Total Corregido	107	1638573.29629630	

Fuente	Cuadrado medio esperado
TIEMPO	$\text{Var(Error)} + 5.571 \text{ Var(TIEMPO)}$
Error	Var(Error)
Componentes de Varianza	Estimados
Var (TIEMPO)	2305.48172409
Var (Error)	13153.12815231

Procedimiento estimación de los componentes de varianza para la variable Biomasa

Fuente	GL	Tipo I SS	Tipo I MS
--------	----	-----------	-----------

TIEMPO	18	163139.654562	9063.31414239
Error	89	487252.57705810	5474.74805683
Corrected Total	107	650392.23162108	

Fuente	Cuadrado medio esperado	
TIEMPO	$\text{Var (Error)} + 5.571 \text{ Var(TIEMPO)}$	
Error	Var (Error)	
Componentes Varianza	Estimados	
Var(TIEMPO)	644.15258267	
Var(Error)	5474.74805683	

Anexo 7. Comparación de los agregados de *M. heterostichon* y el suelo de los alrededores en la selva de >40 Años

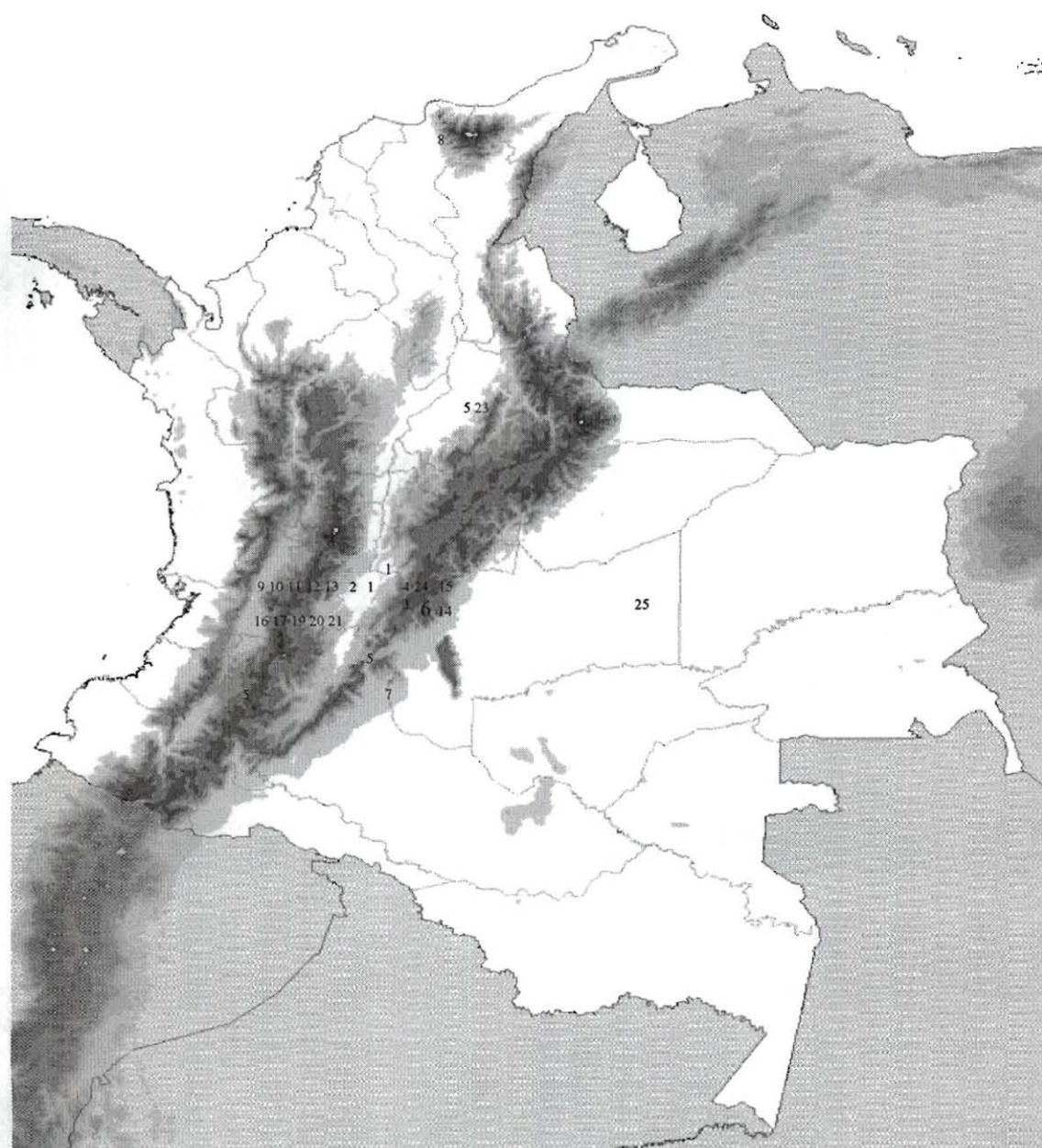
Profundidad		Agregados de diferente clase (mm)					
Cm	>2mm	1.5	0.75	0.375	0.1875	<0.125	D.P.A.
0 – 101	73.4	8.4	6.4	2.1	1.6	8.2	2.4
	10.3	3.1	3.3	1.0	0.7	4.8	0.2
10 – 20	64.3	11.6	8.1	3.1	2.6	10.2	2.2
	9.8	3.5	2.6	1.2	0.9	5.1	0.2
20 – 30	56.9	11.3	11.1	5.5	3.8	11.4	2.0
	11.9	2.7	3.5	2.2	1.3	4.5	0.3
30 – 40	44.3	14.3	14.8	7.0	5.9	13.6	1.7
	10.6	4.8	3.4	1.6	1.6	4.9	0.3
40 – 50	26.2	15.6	18.2	12.7	8.9	18.5	1.2
	11.5	5.7	4.0	4.2	3.3	6.0	0.3
50 – 60	16.9	16.4	20.6	13.4	11.9	20.9	1.0
	10.0	5.2	2.9	2.7	4.3	8.4	0.3
C. D.	90.3	3.0	2.4	1.1	0.8	2.4	2.7
	1.6	0.4	0.6	0.3	0.2	0.3	0.1

C.D.: Cámaras de diapausa

D.P.A.: Diámetro promedio de agregados

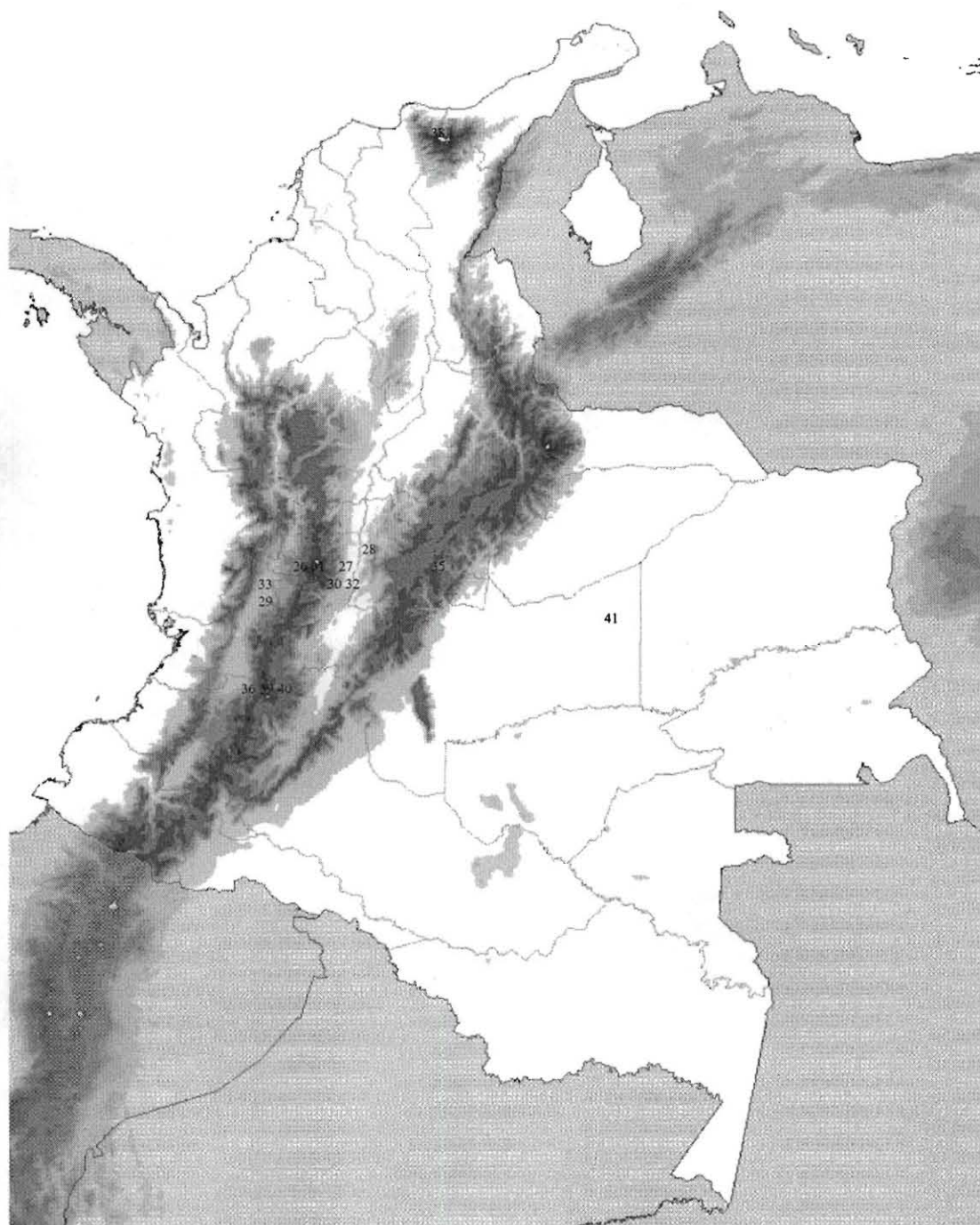
Anexo 8. Localización aproximada de las especies de lombrices de tierra en Colombia

1 = *Andiodrilus bogotaensis*; 2 = *A. ruizanus*; 3 = *A. pachoensis*; 4 = *A. mayor*; 5 = *A. schütti*; 6 = *A. affinis*; 7 = *A. vaucheri*; 8 = *A. argous*; 9 = *A. patoko*; 10 = *A. baruka*; 11 = *A. barbacoa*; 12 = *A. katio*; 13 = *A. mocoa*; 14 = *A. paramensis*; 15 = *A. sturmi*; 16 = *A. talamank*; 17 = *A. terraba*; 18 = *A. pixao*; 19 = *A. xaropi*; 20 = *A. kiri*; 21 = *A. sambu*; 22 = *A. cabalensis*; 23 = *A. michaelsoni*; 24 = *A. graffi*; 25 = *A. yoparensis*



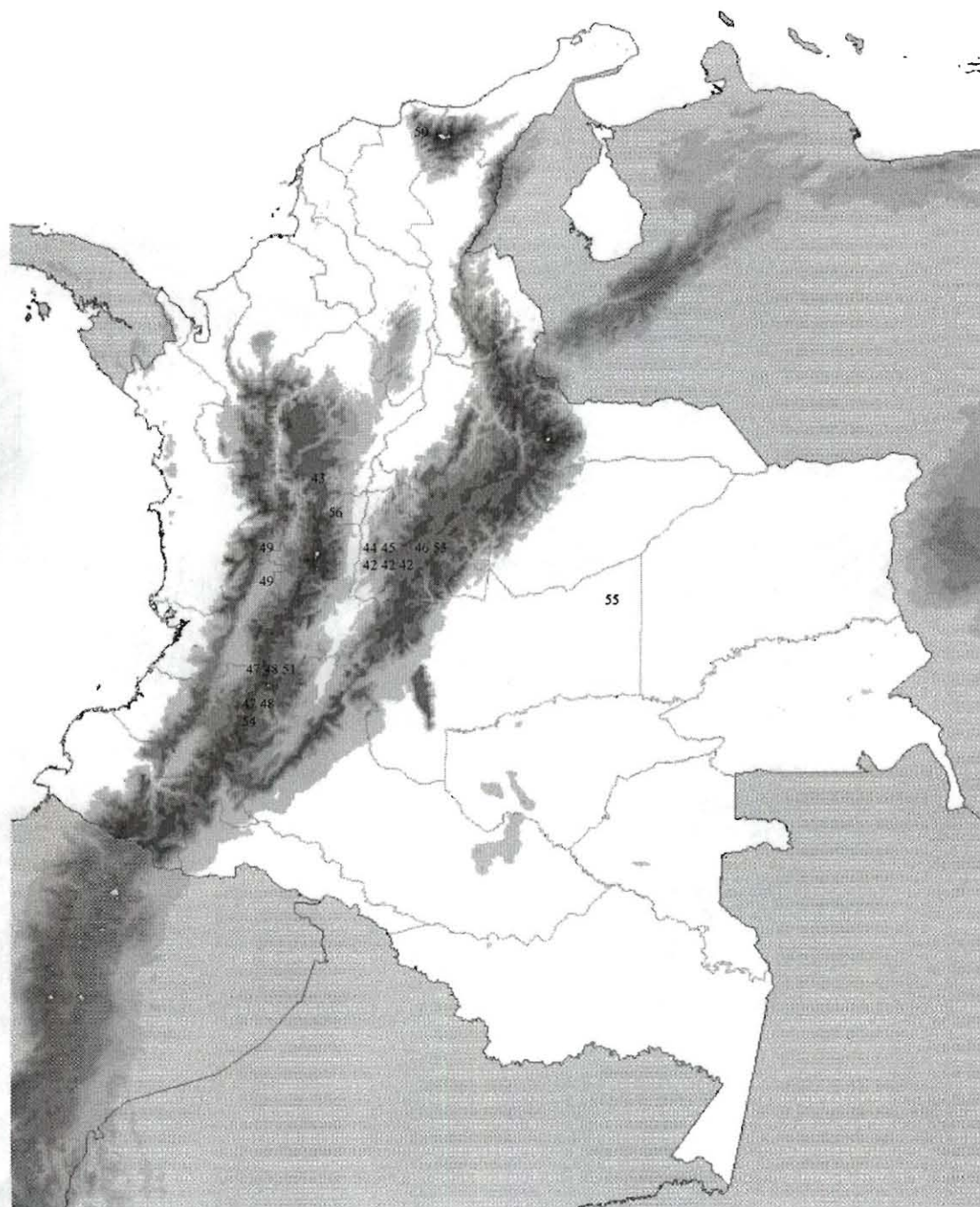
Mapa 1. Localización aproximada de las especies del género *Andiodrilus*

26= *Glossodrilus palenke*; 27= *G. unguis*; 28= *G. hondaensis*; 29= *G. yuko*; 30= *G. kuna*; 31= *G. chami*; 32= *G. paez*; 33= *G. panikita*; 34= *G. totaritoensis*; 35= *G. pixao*; 36 = *G. shütti*; 37= *G. saija*; 38= *G. pan*; 39= *G. lacteus*; 40= *G. griseus*; 41= *G. sikuani*



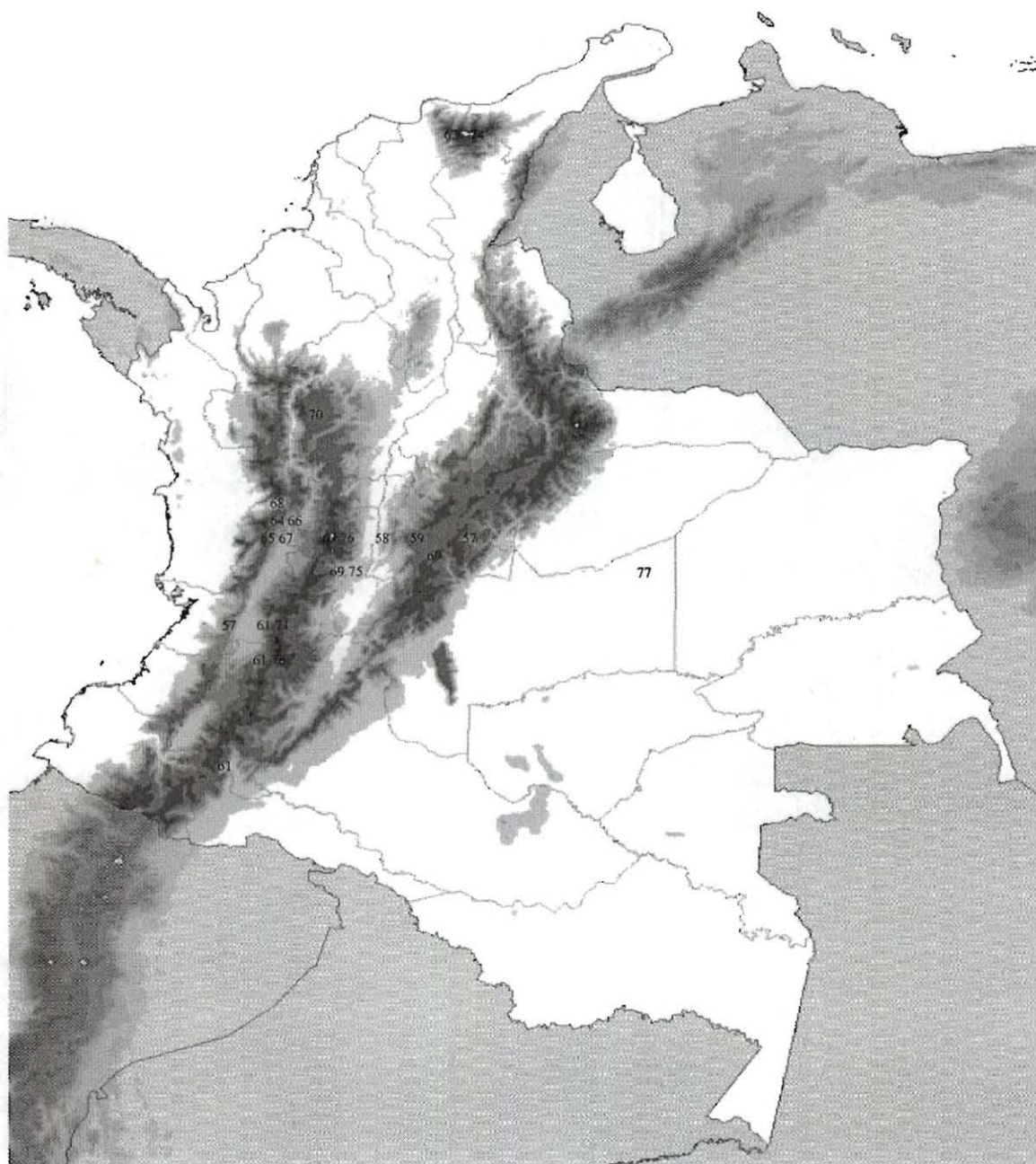
Mapa 2. Localización aproximada de las especies del género *Glossodrilus*

42= *Martiodrilus columbianus*; 43= *M. bicolor*; 44= *M. purnio*; 45= *M. hamifer*; 46= *M. monticola*; 47= *M. agricola*; 48= *M. heterostichon*; 49= *M. gara*; 50= *M. euzonus*; 51= *M. palmirus*; 52= *M. psikakao*; 53= *M. agilis*; 54= *M. olivaceous*; 55= *M. carimaguensis*; 56= *M. (Cordiller.)crassus*



Mapa 3. Localización aproximada de las especies del género *Martiodrilus*

57= *Periscolex fuhrmanni*; 58= *P. vialis*; 59= *P. colombianus*; 60= *P. longituberculatus*; 61= *Maipure ecuadoriensis*; 62= *Bribri pipi*; 63= *B. yari*; 64= *Quimbaya cameliae*; 65= *Q. pakura*; 66= *Q. yumbo*; 67= *Q. karrapa*; 68= *Q. michaelsoni*; 69= *Q. pepare*; 70= *Aptodrilus fuhrmanni*; 71= *A. uncinatus*; 72= *Onoreodrilus loksai*; 73= *O. benavidesi*; 74= *Tairona adrianae*; 75= *Tumak hammeni*; 76= *Andiorrhinus (A.) tukuko*; 77= *A. ofeliae*; 78= *Andiorrhinus* sp 1.



Mapa 4. Localización aproximada de algunas especies de la familia Glossoscolecidae diferentes a *Andiodrilus*, *Glossodrilus* y *Martiodrilus*

79= *P. corethrurus*; 80=*Onycochaeta (e) elegans*; 81=*Dichogaster modiglianni*; 82=*D. bolaui*; 83=*D. affinis*; 84=*D. annae*; 85=*D. Medellina*; 86=*Amyntas corticis*; 87=*A. gracilis*; 88=*Polypheretima elongata*; 89=*O. (Hyogenia) calwoodi*; 90=*Eukerria sp 1*; 91=*Eisenia fetida*; 92=*E. roseus*; 93=*Dendrodrilus (r.) tenuis*; 94=*Dendrobaena octaedra*; 95=*Eiseniella tetraedra*; 96=*Bismastus constrictus*; 97=*Allolobophora rosea*; 98=*A. caliginosa*; 99=*Lumbricus rubellus*; 100=*Octolasion lacteum*; 101=*Eudrilus eugeniae*; 102=*Diplocardia singularis*; 103=*Microscolex phosphoreus*; 104=*Drilocrius breymanni*

